

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DOS DANOS NA  
ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO DA BIBLIOTECA  
CENTRAL DA UNB E PROPOSTA DE PLANO DE GESTÃO  
DA MANUTENÇÃO DOS EDIFÍCIOS DA UNIVERSIDADE.**

**VIVIANE GONÇALVES MENDES**

**ORIENTADORA: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. ELIANE KRAUS DE CASTRO**

**PROJETO FINAL 2 EM ENGENHARIA CIVIL**

**BRASÍLIA – DF, 10 DE DEZEMBRO DE 2014**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DOS DANOS NA  
ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO DA BIBLIOTECA  
CENTRAL DA UNB E PROPOSTA DE PLANO DE GESTÃO  
DA MANUTENÇÃO DOS EDIFÍCIOS DA UNIVERSIDADE.**

**VIVIANE GONÇALVES MENDES**

**TRABALHO DE PROJETO FINAL SUBMETIDO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.**

**APROVADA POR:**

---

**Eliane Kraus de Castro, Dra. (UnB/DF)**  
**(ORIENTADOR)**

---

**Valdirene Maria Silva Capuzzo, Dra. (UnB/DF)**  
**(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**Cláudio Henrique De A. Feitosa Pereira, Dr. (UnB/DF)**  
**(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: BRASÍLIA/DF, 10 de Dezembro de 2014.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

MENDES, VIVIANE GONÇALVES.

**Avaliação quantitativa dos danos na estrutura de concreto armado da Biblioteca Central da UnB e proposta de plano de gestão da manutenção dos edifícios da Universidade.** [Distrito Federal] 2014.

xi, 75 p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2014)

Trabalho de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Patologia

2. Durabilidade

3. Manutenção

4. Estrutura

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MENDES, V.G. (2014). **Avaliação quantitativa dos danos na estrutura de concreto armado da Biblioteca Central da UnB e proposta de plano de gestão da manutenção dos edifícios da Universidade.** Trabalho de Projeto Final, Publicação, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 75 p.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DOS AUTORES: VIVIANE GONÇALVES MENDES.

TÍTULO DO TRABALHO DE PROJETO FINAL: **Avaliação quantitativa dos danos na estrutura de concreto armado da Biblioteca Central da UnB e proposta de plano de gestão da manutenção dos edifícios da Universidade.** GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Civil / 2014

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

## **RESUMO**

Dadas as atuais condições de visível deterioração dos prédios da Universidade de Brasília, é reconhecida a necessidade de manutenção preventiva/corretiva como forma de garantir um padrão aceitável para a edificação ao longo de sua vida útil prevista.

Este projeto final tem por objetivo avaliar a edificação da Biblioteca Central da Universidade de Brasília (BCE), Campus Darcy Ribeiro, utilizando inspeções adequadas para subsidiar o plano de gestão da manutenção de edifícios. A realização de uma inspeção adequada é capaz de criar um banco de dados da estrutura, contribuindo para a sua avaliação e definição de ações para recuperação ou manutenção dos níveis de desempenho dessas estruturas.

Para a avaliação da estrutura foi utilizada a metodologia de avaliação quantitativa de estruturas de concreto proposta pelo PECC/UnB: a metodologia GDE. A inspeção e documentação foram feitas segundo o roteiro desta metodologia e a partir de fotos digitais para posterior ilustração e análise.

Os elementos estudados para a avaliação da Biblioteca foram: pilares (brises), lajes de coroamento e juntas de dilatação. Os pilares tiveram seu nível de deterioração classificado como sofrível, as juntas de dilatação apresentaram nível de deterioração crítico assim como as lajes de coroamento. Por fim, a análise da estrutura da Biblioteca resultou em grau de deterioração crítico, refletindo a intensa deterioração dos elementos estudados.

Palavras-chave:

Patologia das construções.

Inspeção predial.

Metodologia Gde.

Biblioteca Central (UnB)

Plano de gestão da manutenção.

Manutenção predial.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	1
1.2	OBJETIVOS .....	1
1.2	PATOLOGIA.....	2
1.3	VIDA ÚTIL .....	2
1.4	DESEMPENHO.....	4
1.5	DURABILIDADE.....	7
1.6	FATORES DE DEGRADAÇÃO.....	8
1.7	AGRESSIVIDADE AMBIENTAL .....	10
1.8	CORROSÃO DAS ARMADURAS DE CONCRETO ARMADO.....	12
1.8.1	CARBONATAÇÃO.....	14
1.8.2	ATAQUES POR CLORETOS.....	14
1.9	FISSURAÇÃO.....	15
1.9.1	ESTADO FRESCO .....	17
1.9.2	ESTADO ENDURECIDO.....	17
1.9.3	FISSURAS DE ORIGEM ESTRUTURAL.....	18
1.10	MANUTENÇÃO .....	20
1.11	INSPEÇÃO.....	22
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA PARA QUANTIFICAÇÃO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO .....</b>	<b>23</b>
2.1	VISÃO GERAL .....	23
2.2	A METODOLOGIA .....	23
2.3	RESULTADOS DE TRABALHOS ANTERIORES APLICANDO A METODOLOGIA GDE/UNB .....	29
<b>3</b>	<b>A EDIFICAÇÃO .....</b>	<b>30</b>
3.1	HISTÓRICO .....	30

3.2	ARQUITETURA E DETALHES CONSTRUTIVOS .....	31
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DA BIBLIOTECA COM APLICAÇÃO DA METODOLOGIA</b>	<b>36</b>
<b>GDE</b>		
4.1	JUNTAS DE DILATAÇÃO .....	36
4.1.1	JUNTAS DE DILATAÇÃO DA LAJE DE COBERTURA .....	37
4.1.2	JUNTAS DE DILATAÇÃO DAS LAJES DE COROAMENTO .....	40
4.1.3	RESULTADOS .....	42
4.2	LAJES DE COROAMENTO .....	43
4.3	PILARES .....	58
4.4	RESULTADO FINAL .....	64
<b>5</b>	<b>MODELO DE GESTÃO DE MANUTENÇÃO PARA EDIFÍCIOS EM</b>	<b>66</b>
<b>CONCRETO ARMADO .....</b>		
5.1	ESTRUTURAÇÃO BÁSICA E PROPOSTAS PARA ELABORAÇÃO DE UM	
PLANO DE GESTÃO .....		66
5.1.1	BANCO DE DADOS .....	67
5.1.2	ANÁLISE DE DADOS .....	68
5.1.3	SUPORTE À DECISÃO .....	69
5.2	CONSIDERAÇÕES SOBRE SISTEMAS DE GESTÃO .....	69
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>72</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>74</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Conceituação de vida útil das estruturas de concreto ao longo do tempo (Helene apud Medeiros, 2011). .....	3
Figura 2.2 Ações positivas e negativas para a Vida Útil de uma edificação. ....	4
Figura 2.3. Variações de desempenho em uma estrutura (Castro, 1994) .....	6
Figura 2.4. Modelo de equilíbrio de uma estrutura de concreto .....	7
Figura 2.5. Classes de Agressividade Ambiental (ABNT NBR 6118:2014).....	9
Figura 2.6. Célula de corrosão no concreto armado. (Souza e Ripper, 1998). ....	13
Figura 2.7. Fases do processo de corrosão na armadura (Helene apud Medeiros, 2011).....	14
Figura 2.8. a) fissurações por insuficiência de armadura. ....	19
Figura 2.9. Lei dos 5 (Castro,1994 apud Sitter,1986). ....	21
Figura 2.10. Fluxograma genérico para diagnose de uma estrutura convencional (Modificado - Souza e Ripper, 1998).....	22
Figura 3.1. Fluxograma para avaliação do grau de deterioração de estruturas de concreto da metodologia GDE/UnB (Fonseca, 2007) .....	24
Figura 3.2. Grau do dano (D) x Fator de intensidade do dano (Fi) para $F_p=5$ (Fonseca, 2007). ....	26
Figura 4.1. Localização BCE/ UnB (Google Earth, 2014). ....	311
Figura 4.2. Planta do térreo (CEPLAN). ....	322
Figura 4.3. Plantas do pavimento superior e subsolo (CEPLAN).....	322
Figura 4.4. Planta de forma da laje de cobertura (CEPLAN). ....	333
Figura 4.5. Planta estrutural das lajes de coroamento (CEPLAN).....	333
Figura 4.6. Detalhamento das lajes de coroamento (CEPLAN). ....	344
Figura 4.7. Concepção arquitetônica dos pilares e estantes de livros na BCE/UnB (Pena e Lourenço, 2008).....	344
Figura 4.8. Vista da fachada da BCE/UnB – entrada de funcionários (Novembro, 2014).....	355
Figura 4.9. Vista da fachada da BCE/UnB – entrada dos alunos (Novembro, 2014). ....	355
Figura 5.1. Juntas de dilatação das lajes de cobertura. ....	366
Figura 5.2. Juntas de dilatação das lajes de coroamento. ....	377
Figuras 5.3 e 5.4. Juntas de dilatação AB e CD, respectivamente. ....	388
Figuras 5.5 e 5.6. Junta de dilatação BC central e detalhe das borrachas deterioradas.....	388
Figura 5.7. Manchas e umidade na junta BC. ....	38
Figura 5.8 e 5.9. Material degradado no preenchimento da junta AB.....	39
Figura 5.10 e 5.11. Vazios em trecho da junta AB por degradação de material de preenchimento. ....	39
Figura 5.12. Vista interna da junta CD. ....	400

Figura 5.13. Detalhes de manchas e fissuras próximas à junta CD.....	400
Figura 5.14 e 5.15. Obstrução e umidade na junta JC2. ....	411
Figura 5.16 e 5.17. Obstrução e umidade na junta JC1. ....	411
Figura 5.18 e 5.19. Impermeabilização das juntas JC1 e JC2, respectivamente. ....	411
Figura 5.20 e 5.21. Fissuração em pilar de sustentação da laje de coroamento. ....	422
Figura 5.22 e 5.23. Regiões isoladas abaixo da junta AB. ....	433
Figura 5.24. Identificação das lajes de coroamento e divisão em partes A e B. ....	444
Figura 5.25. Vigas transversais na laje LC2 (Google Earth, 2014). ....	444
Figura 5.26 e 5.27. Cobrimento deficiente das armaduras nas lajes de coroamento. ....	455
Figura 5.28 e 5.29. Cobrimento deficiente das armaduras nas lajes de coroamento. ....	455
Figura 5.30 e 5.31. Esfoliações e deslocamento do concreto nas lajes de coroamento. ....	466
Figura 5.32 e 5.33. Deslocamento do concreto nas lajes de coroamento. ....	466
Figura 5.34 e 5.35. Corrosão de armaduras nas lajes de coroamento. ....	477
Figura 5.36. Corrosão de armaduras nas lajes de coroamento. ....	477
Figura 5.37 e 5.38. Pintura anticorrosiva em armaduras expostas. ....	488
Figura 5.39. Pintura anticorrosiva em armaduras expostas. ....	488
Figura 5.40 e 5.41. Falhas de concretagem nas lajes de coroamento. ....	49
Figura 5.42 e 5.43. Falhas de concretagem nas lajes de coroamento. ....	49
Figura 5.44. Destaque em planta sob região analisada no estudo de fissuras das lajes de coroamento. ....	500
Figura 5.45 e 5.46. Frequência de fissuras nas lajes de coroamento. ....	500
Figura 5.47. Exemplo de fissura com ampla abertura em laje de coroamento. ....	511
Figura 5.48 e 5.49. Fissuras preenchidas por epóxi, com reabertura da fissura. ....	533
Figura 5.50 e 5.51. Eflorescência nas lajes de coroamento. ....	533
Figura 5.52 e 5.53. Eflorescência nas lajes de coroamento. ....	544
Figura 5.54 e 5.55. Manchas nas lajes de coroamento. ....	544
Figura 5.56 e 5.57. Manchas nas lajes de coroamento. ....	555
Figura 5.58 e 5.59. Manchas de umidade nas lajes de coroamento. ....	555
Figura 5.60. Vista superior da BCE/UnB (Google Earth, 2014). ....	566
Figura 5.61. Baias na laje de coroamento LC2. ....	566
Figura 5.62 e 5.63. Fungos nas lajes de cobertura abaixo das lajes de coroamento. ....	577
Figura 5.64. Planta baixa com destaque aos pilares e sua nomenclatura. ....	588
Figura 5.65 e 5.66. Cobrimento deficiente em pilares diferentes, $F_i=2$ . ....	59
Figura 5.67 e 5.68. Cobrimento deficiente em P14, $F_i=3$ . ....	59
Figura 5.69 e 5.70. Deslocamento em pilares com $F_i=3$ . ....	600



Figura 5.71 e 5.72. Desplacamento em pilares com $F_i=2$ . .....	600
Figura 5.73 e 5.74. Corrosão de armaduras em pilares com $F_i=3$ . .....	611
Figura 5.75. Corrosão de armaduras em pilares com $F_i=3$ . .....	611
Figura 5.76 e 5.77. Corrosão de armadura em pilares com $F_i=2$ . .....	611
Figura 5.78 e 5.79. Falha de concretagem em pilares com $F_i=3$ . .....	622
Figura 5.80 e 5.81. Falha de concretagem em pilares com $F_i=2$ . .....	622
Figura 5.82 e 5.83. Eflorescência nos pilares. ....	633
Figura 5.84 e 5.85. Manchas nos pilares. ....	633
Figura 6.1. Fluxo simplificado de atividades em um sistema de gestão. ....	677
Figura 6.2. Relação entre Grau de deterioração e Idade das estruturas.....	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Classes de Agressividade Ambiental (ABNT NBR 6118:2014) .....	10
Tabela 2.2. Correspondência entre Classes de Agressividade Ambiental e Qualidade do Concreto (ABNT NBR 6118:2014).....	11
Tabela 2.3. Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal (cnom) para $\Delta c = 10$ mm (ABNT NBR 6118:2014). ....	11
Tabela 2.4. Principais patologias em concreto armado (Castro, 2014). ....	15
Tabela 2.5. Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura em função das classes de agressividade ambiental (ABNT NBR 6118:2014) .....	16
Tabela 2.6. Fissuras no concreto (estado fresco). ....	17
Tabela 2.7. Fissuras no concreto (estado endurecido).....	18
Tabela 3.1. Fator de intensidade do dano segundo a gravidade da manifestação (Fonseca, 2007). ....	25
Tabela 3.2. Equações para cálculo do grau de dano (Fonseca, 2007). ....	25
Tabela 3.3. Classificação dos níveis de deterioração do elemento pela metodologia GDE/UnB (Fonseca, 2007). ....	27
Tabela 3.4. Fatores de relevância estrutural (Fr) para famílias de elementos (Fonseca, 2007). ....	28
Tabela 3.5. Classificação dos níveis de deterioração da estrutura pela metodologia GDE/UnB (Fonseca, 2007). ....	28
Tabela 3.6. Nível de deterioração do ICC e Reitoria (modificado – Fonseca, 2007). ....	29
Tabela 5.1. Resultado da análise das juntas de dilatação. ....	42
Tabela 5.2. Valor de Gdf para as juntas de dilatação. ....	43
Tabela 5.3. Dados climatológicos de Brasília entre os anos 1960 e 1990 (INMET, 2014). ....	51
Tabela 5.4. Média das aberturas das fissuras nas lajes LC1 e LC2.....	52
Tabela 5.5. Valores de Gde para cada parte das lajes de coroamento.....	57
Tabela 5.6. Valor de Gdf para lajes de coroamento. ....	58
Tabela 5.7. Valores de Gde para cada pilar e Gdf para os pilares. ....	64
Tabela 5.8. Nível de deterioração dos pilares divididos em fachadas norte e sul. ....	64
Tabela 5.9. Grau de deterioração da estrutura – Gd. ....	65

## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
<b>D</b>	Grau de dano
<b>F<sub>i</sub></b>	Fator de intensidade do dano
<b>F<sub>p</sub></b>	Fator de ponderação do dano
<b>Fr</b>	Fator de relevância estrutural
<b>G<sub>d</sub></b>	Grau de deterioração da estrutura
<b>G<sub>de</sub></b>	Grau de deterioração do elemento
<b>G<sub>df</sub></b>	Grau de deterioração da família de elementos
<b>k</b>	Número de famílias de elementos que existem na edificação
<b>m</b>	Número de danos detectados no elemento
<b>n</b>	Número de elementos da família com $G_{de} > 15$ .

# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

Segundo a NBR 5674:2012, as edificações são o suporte físico para a realização direta ou indireta de todas as atividades produtivas, e possuem, portanto, um valor social fundamental. Sendo assim, devem atender às necessidades de seus usuários durante muitos anos, apresentando sempre condições adequadas para seu uso e resistência aos agentes ambientais do meio.

A durabilidade e a vida útil são aspectos fundamentais no estudo de uma edificação. Para que a vida útil prevista em projeto seja assegurada, precisa-se garantir a execução rotineira de manutenções. É desejável que o dano seja corrigido em sua fase inicial, pela facilidade de reparação e baixo custo. À medida que o dano se intensifica, o reparo é de maior complexidade e requer mais gastos.

A realidade dos prédios pioneiros do Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília é: estado deteriorado, ausência de inspeção rotineira e falta de manutenção. Aliado à existência de uma metodologia científica desenvolvida na própria Universidade, a situação dos blocos pioneiros do Campus Darcy Ribeiro fornece um contexto adequado para a realização de uma inspeção predial. A análise final da estrutura permitirá o levantamento de propostas para o gerenciamento da manutenção dos blocos da Universidade.

## **1.2 OBJETIVOS**

- **OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral deste projeto final é inspecionar as edificações em concreto armado do Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília, com o intuito de utilizar os dados obtidos como subsídios para um sistema de gestão da manutenção dessas estruturas.

- **OBJETIVO ESPECÍFICO**

O objetivo específico deste projeto final consiste no estudo tanto das características de projeto quanto do estado atual da edificação da Biblioteca Central (BCE). O levantamento das características atuais foi realizado por meio de inspeção utilizando a metodologia Gde. Juntamente aos dados do ICC e Reitoria, os dados da BCE subsidiarão os requisitos para o sistema de gestão da manutenção das edificações da Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro.

## 1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.2 PATOLOGIA

“Designa-se genericamente por *patologia das estruturas* esse novo campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, conseqüências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas” (Souza e Ripper, 1994).

A patologia, então, é caracterizada pela manifestação dos danos e falhas, que geram a perda de desempenho em um elemento. A patologia tem origem em:

- erros de planejamento/projeto/execução;
- erros na fabricação de materiais fora do canteiros;
- falhas de uso;
- deterioração proveniente da interação com o meio ambiente.

O estudo das manifestações patológicas é importante não apenas para realização de intervenções de recuperação, mas também é um legado para a evolução de projetos, métodos construtivos, materiais de construção, entre outros, visando maior durabilidade das estruturas futuras.

### 1.3 VIDA ÚTIL

Segundo a ABNT NBR 15575-1:2013, vida útil é o período de tempo em que um edifício e/ou suas partes se prestam às atividades para as quais foram elaborados considerando a realização de manutenções adequadas e periódicas segundo as especificações do Manual de Uso, Operação e Manutenção. Este documento, elaborado pelo construtor, contém as informações necessárias para orientar as atividades de operação, uso e manutenção da edificação e deve ser entregue ao usuário.

O conceito de vida útil de uma edificação pode ainda ser dividido em quatro outros:

- Vida Útil de Projeto: período de tempo em que as propriedades das estruturas de concreto se encontram acima de um valor mínimo estabelecido desde que seguidos os requisitos de uso, operação e manutenção pelo usuário; é estimada a partir de modelos de deterioração.

- Vida Útil de Serviço: período de tempo que vai do momento em que é finalizada a construção da estrutura até o surgimento de patologias inadmissíveis.
- Vida Útil Residual: intervalo de tempo, contado após a vida útil de projeto, em que o sistema apresenta decréscimo continuado de desempenho em função do uso e/ou do envelhecimento natural; é estimada a partir do aparecimento de uma manifestação patológica inadmissível e vai até o limite da vida útil de serviço. Nessa etapa, a estrutura ainda há condições satisfatórias de segurança, saúde e higiene.
- Vida Útil Total: período de tempo que compreende a vida útil de projeto, a vida útil residual e uma sobrevida na qual passa a existir a possibilidade de que os níveis de segurança comecem a ser perigosamente afetados; período de tempo que vai até a ruptura ou colapso parcial.

A Figura 2.1 a seguir mostra a relação desempenho x tempo relacionada ao surgimento de danos e falhas.

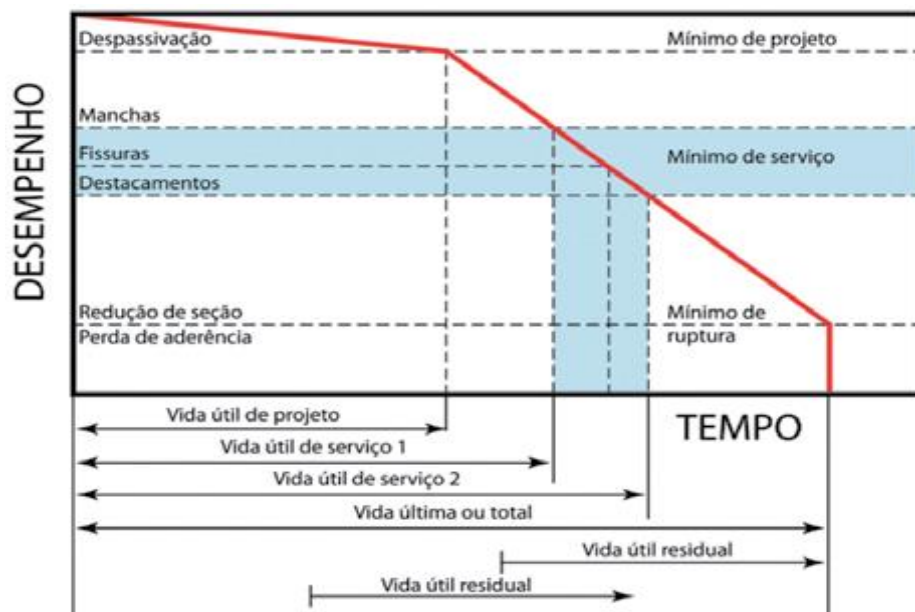


Figura 1.1 Conceituação de vida útil das estruturas de concreto ao longo do tempo (Helene apud Medeiros, 2011).

A contagem do período de tempo da Vida Útil é iniciada a partir da data de conclusão da obra do edifício, ou seja, dia da expedição do Auto de Conclusão de Edificação.

O esquema abaixo apresenta condutas a serem seguidas para se assegurar que a Vida Útil da edificação alcance a Vida Útil de Projeto (VUP). É importante citar que a VUP é projetada com base nas condições (ambientais, tecnológicas, culturais, entre outras) da época. Portanto, há fatores externos, que surgem ao longo do tempo, que não são controláveis e que podem vir a interferir na durabilidade da estrutura. Assim, a Vida Útil de fato de uma estrutura é um balanço entre a Vida Útil de Projeto e as ações que influenciam positiva e negativamente para a estrutura. A Figura 2.2 a seguir expõe esse balanço de ações.

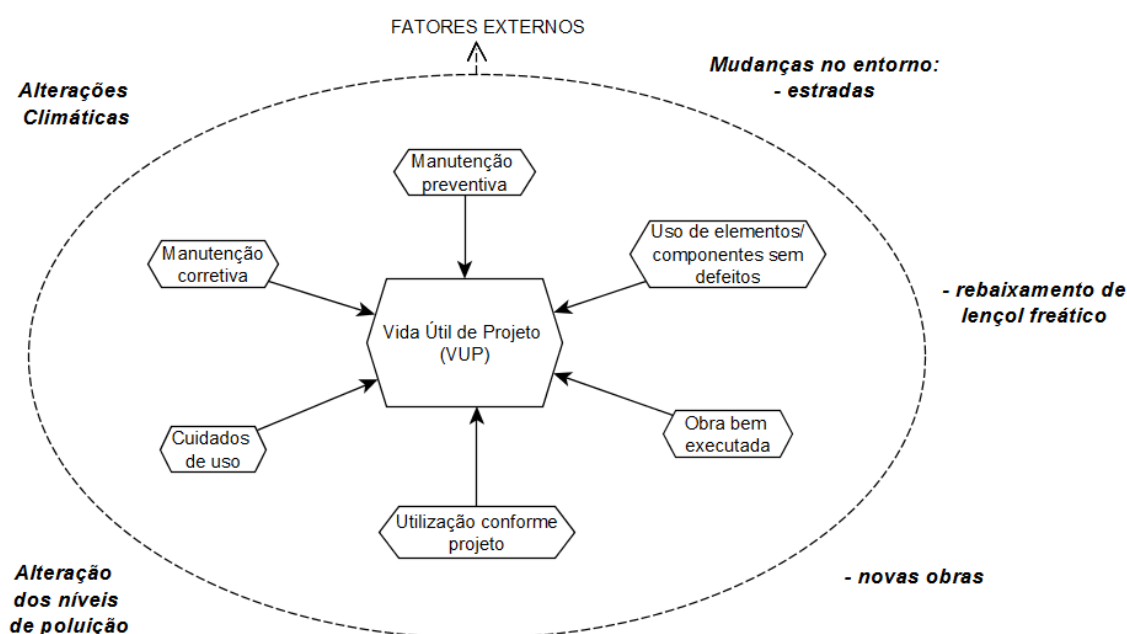


Figura 1.2 Ações positivas e negativas para a Vida Útil de uma edificação.

## 1.4 DESEMPENHO

Ao comportamento em serviço da edificação ao longo de sua Vida Útil dá-se o nome de desempenho. A ABNT NBR 6118:2014 define desempenho como “capacidade de a estrutura manter-se em condições plenas de utilização, não devendo apresentar danos que comprometam em parte ou totalmente o uso para o qual foi projetada”.

A avaliação do desempenho de uma estrutura é realizada a partir da análise dos requisitos de desempenho no sistema/estrutura em estudo, relacionando os resultados encontrados aos critérios estabelecidos como adequados, os quais abrangem as exigências do usuário e consideram os fatores de exposição ambiental do edifício. A avaliação do desempenho pode ser realizada por ensaios laboratoriais, ensaios de campo, inspeções em protótipos, simulações

e análises de projeto. Os resultados obtidos buscam analisar a adequação ao uso de um sistema construtivo (e até mesmo do processo construtivo) em relação à função à que está destinado a realizar e, assim, também espelham a qualidade do trabalho desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção.

As exigências dos usuários em relação à edificação envolvem necessidades básicas de segurança, habitabilidade, sustentabilidade e de economia, entre elas: segurança estrutural, segurança à utilização, segurança ao fogo, estanqueidade, conforto antropodinâmico, conforto higrotérmico, conforto visual, durabilidade, qualidade do ar, entre outros. Para cada um dos requisitos relacionados às exigências acima, existem níveis de desempenho a serem atribuídos. Os elementos e/ou sistemas que atendam aos requisitos mínimos são considerados no Nível “M” (Nível Mínimo), que obrigatoriamente deve ser atendido por qualquer edificação para que se garanta um grau mínimo de desempenho. Considerando os diferentes graus de qualidade dos sistemas e elementos, pela análise de custo/benefício, foram estabelecidos outros níveis de classificação: Nível “I” (Intermediário) e Nível “S” (Superior).

As curvas mostradas na Figura 2.3 mostram diversas situações em que há variação no desempenho da estrutura ao longo de sua Vida Útil e também as causas/ providências adotadas. “R” representa a grandeza em avaliação representando o desempenho (flecha, fissuração, entre outros) e  $R_0$  é o limite mínimo aceitável para o desempenho do elemento/estrutura.



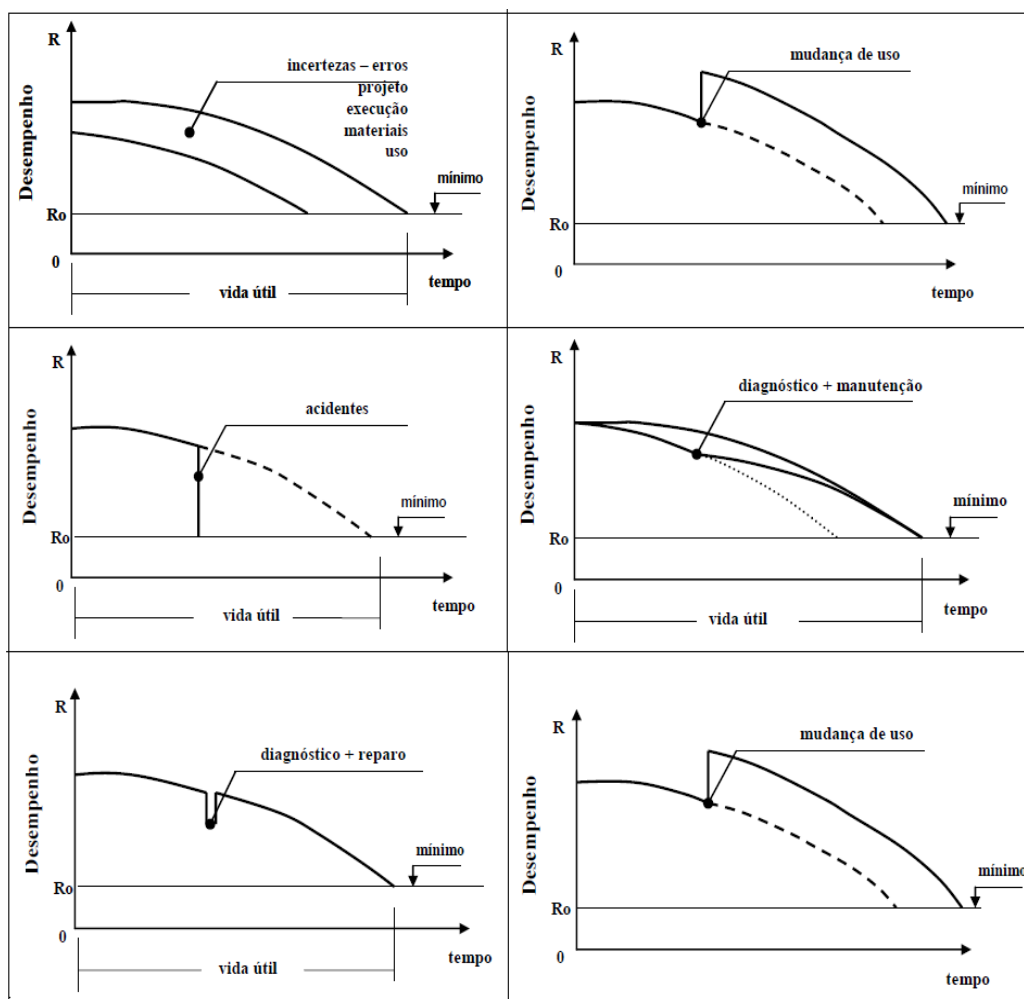


Figura 1.3. Variações de desempenho em uma estrutura (Castro, 1994)

Quando uma estrutura sofre solicitações de várias origens, é necessário que ela possua capacidade resistente suficiente para enfrentar tais esforços. Esse balanço é indicativo da qualidade da estrutura de concreto armado, influenciando no desempenho e, conseqüentemente, vida útil da edificação. A Figura 2.4 mostra exatamente as fases de equilíbrio de uma estrutura em concreto armado e seus reflexos no desempenho.

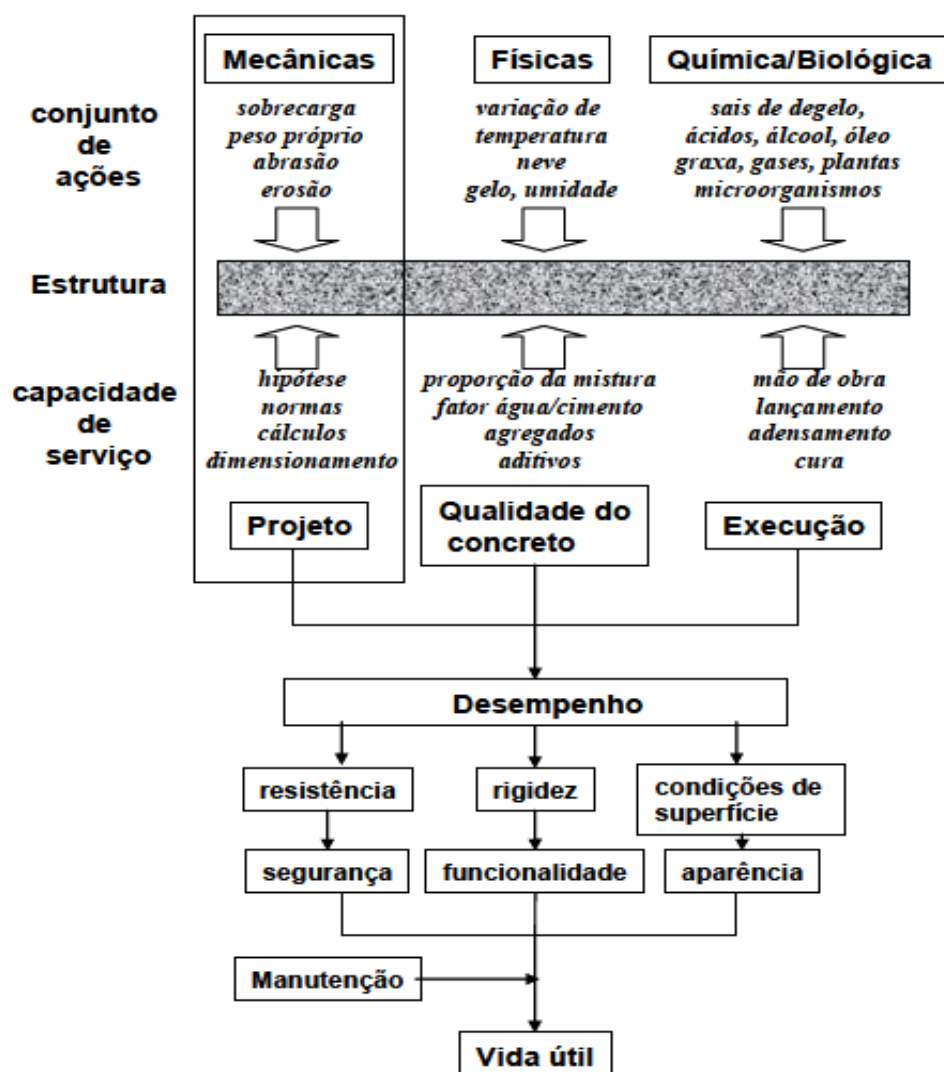


Figura 1.4. Modelo de equilíbrio de uma estrutura de concreto (Modificado - CEB, 1992 apud Castro, 1994).

## 1.5 DURABILIDADE

Baseando-se na ABNT NBR 15575:2013, pode-se dizer que durabilidade é a capacidade da edificação desempenhar suas funções ao longo de sua Vida Útil sob condições de uso e manutenção especificadas. A durabilidade se extingue quando a edificação deixa de cumprir suas funções, tanto por degradação, que conduz a um estado insatisfatório de desempenho, quanto por obsolescência funcional.

A durabilidade de uma estrutura de concreto armado está intimamente ligada à qualidade dos materiais utilizados e às condições de exposição da edificação ao meio ambiente. Quanto à qualidade do concreto, a relação água/cimento influi em diversas propriedades, além da

resistência mecânica, como densidade, compacidade, porosidade, permeabilidade, capilaridade e fissuração. Os agregados também têm grande influência, não devendo ser reativos com o cimento, nem conter substâncias que diminuam sua aderência com esse e devem ser estáveis em face às ações dos agentes externos durante a obra. Essas propriedades são determinantes para descrever o comportamento do concreto face à agressividade ambiental: avalia-se a capacidade de o concreto transportar líquidos e gases do meio ambiente para seu interior. Quanto menos substâncias forem carregadas para o seu interior, melhor será a qualidade e maior a durabilidade do concreto.

## **1.6 FATORES DE DEGRADAÇÃO**

Fator de degradação (ou deterioração) é qualquer fator externo que afete a durabilidade de um edifício ou de suas partes. A Figura 2.5 a seguir é um diagrama que mostra os fatores de deterioração mais comuns do concreto armado e suas consequências para a estrutura.

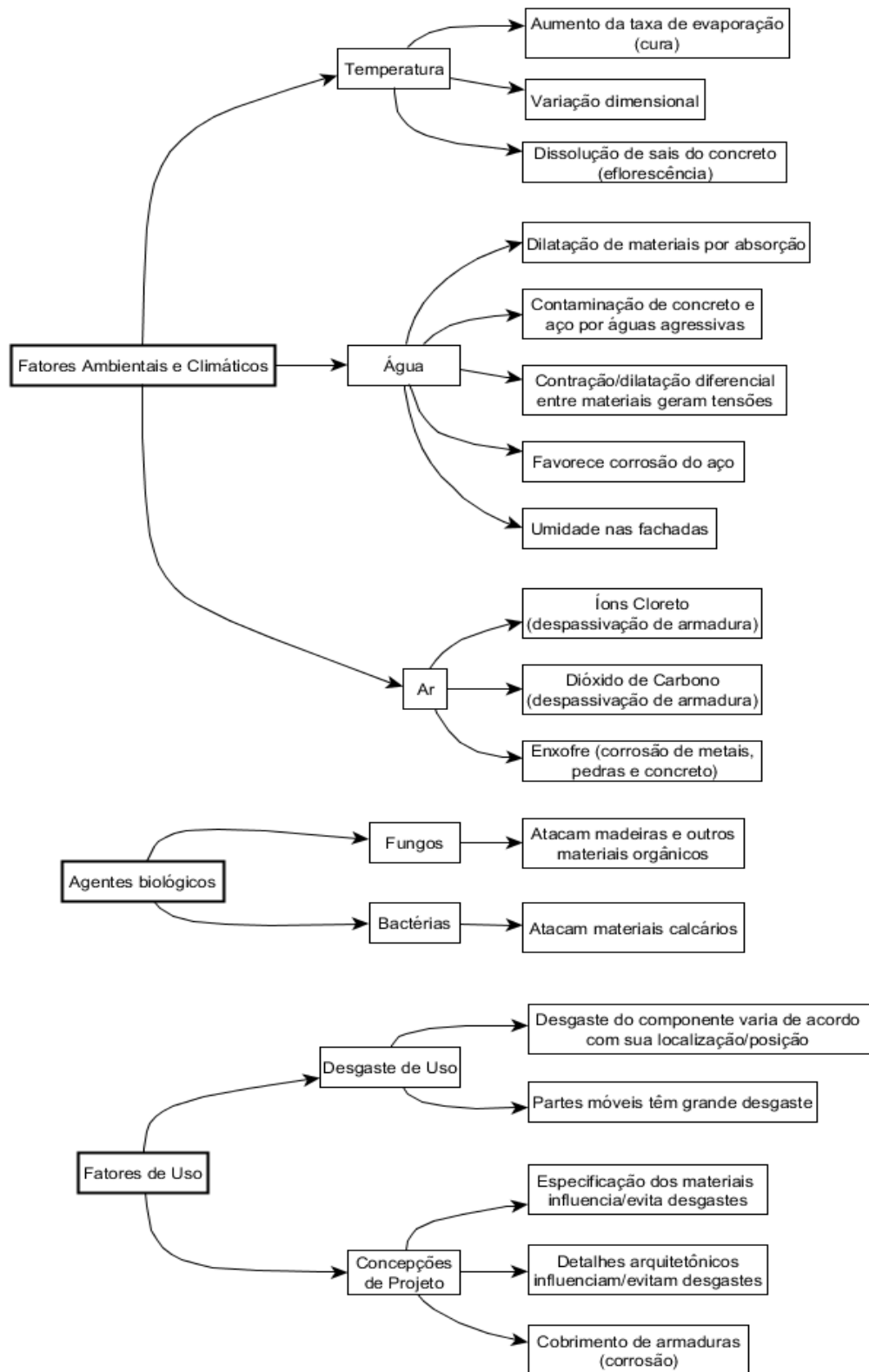


Figura 1.5. Classes de Agressividade Ambiental.

## 1.7 AGRESSIVIDADE AMBIENTAL

Por agressividade ambiental entende-se a intensidade das ações físicas e químicas da natureza que agem na edificação. Para cada ambiente, a agressividade é classificada segundo a Tabela 2.1.

Tabela 1.1. Classes de Agressividade Ambiental (ABNT NBR 6118:2014)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
II	Moderada	Submersa	Pequeno
III	Forte	Urbana <sup>a, b</sup>	Grande
IV	Muito forte	Marinha <sup>a</sup>	Elevado
		Industrial <sup>a, b</sup>	
		Industrial <sup>a, c</sup>	
		Respingos de maré	

<sup>a</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

<sup>b</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

<sup>c</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

As classes de agressividade do meio também ditam as propriedades do concreto que deve ser utilizado no ambiente, assim como o cobrimento correto para proteção da armadura, como mostram as Tabelas 2.2 e 2.3.

Tabela 1.2. Correspondência entre Classes de Agressividade Ambiental e Qualidade do Concreto (ABNT NBR 6118:2014).

Concreto <sup>a</sup>	Tipo <sup>b, c</sup>	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

<sup>a</sup> O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

<sup>b</sup> CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

<sup>c</sup> CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Tabela 1.3. Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal ( $c_{nom}$ ) para  $\Delta c = 10$  mm (ABNT NBR 6118:2014).

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV <sup>c</sup>
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje <sup>b</sup>	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo <sup>d</sup>	30		40	50
Concreto protendido <sup>a</sup>	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

<sup>a</sup> Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

<sup>b</sup> Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.

<sup>c</sup> Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

<sup>d</sup> No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

Para garantir o cobrimento mínimo ( $c_{min}$ ), o projeto e a execução devem considerar o cobrimento nominal ( $c_{nom}$ ), que consiste na soma de  $c_{min}$  mais  $\Delta c$  ( $\Delta c = 10$  mm para obras correntes) e é medido a partir da superfície externa dos estribos

## 1.8 CORROSÃO DAS ARMADURAS DE CONCRETO ARMADO

A corrosão do aço em estruturas de concreto armado é de grande importância por ser um fenômeno potencial de gerar grandes danos a uma estrutura. A corrosão da armadura tem efeitos expansivos causadores de fissuras, desagregação do concreto de cobrimento, perda de aderência concreto-aço, além de o aço perder seção transversal, o que se torna um grave problema estrutural, comprometendo a vida útil da estrutura.

Todo o aço no interior do concreto encontra-se inicialmente protegido por uma película de óxidos aderidos ao aço – originadas pela dissolução de hidróxidos presentes no cimento que saturam os poros do concreto conferindo-lhe um pH entre 13 e 14, que o protege da corrosão. A este fenômeno dá-se a denominação de *passivação* do aço.

A despassivação da armadura se dá justamente com a diminuição do pH do concreto devido à carbonatação ou ataque de cloretos. O fenômeno de corrosão da armadura ocorre em meio à presença de umidade (água) e oxigênio. Essas substâncias nocivas ingressam para o interior do concreto através de mecanismos de transporte e agem nos poros e microfissuras presentes na pasta de cimento. O mecanismo de transporte pode ser:

- difusão: movimento de uma substância em direção aonde há menor concentração, regido pelas leis de Fick.
- absorção capilar: é função da tensão capilar, que depende tanto de características do líquido (viscosidade, densidade, tensão capilar) quanto do concreto (estrutura dos poros e energia superficial).
- penetração por pressão: é a penetração por meio de diferença de pressão. No caso da água, é regida pela lei de Darcy e dependente da pressão, tempo, área de seção e viscosidade.
- migração (iônica): ocorre na presença de campo elétrico. Os íons de carga positiva tendem a procurar regiões com potencial mais negativo.

Em qualquer caso o processo de corrosão do aço é eletroquímico, ou seja, ocorre pela geração de um potencial elétrico, na presença de um eletrólito - no caso, a solução aquosa existente no concreto – em contato com um condutor metálico, a própria barra de aço. A passagem de átomos de ferro à superfície aquosa, transformando-se em cátions ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ ), e a

consequente saída de carga eletricamente negativa da região anódica, instalam a diferença de potencial. Desta forma, cria-se um efeito de pilha (Figura 2.6) onde a corrosão instala-se pela geração de uma corrente elétrica dirigida do ânodo para o cátodo, através da água, e do cátodo para o ânodo, através da diferença de potencial. No caso do concreto armado, as regiões de menor concentração de  $O_2$  são as anódicas. Da combinação do cátion  $Fe^{2+}$  com os ânions  $OH^-$  resulta o hidróxido ferroso, de cor amarelada, depositado no ânodo; no cátodo deposita-se o hidróxido férrico, de cor avermelhada. Estes dois produtos constituem a ferrugem, evidência mais clara da corrosão do aço. O processo de corrosão está ilustrado na Figura 2.6.

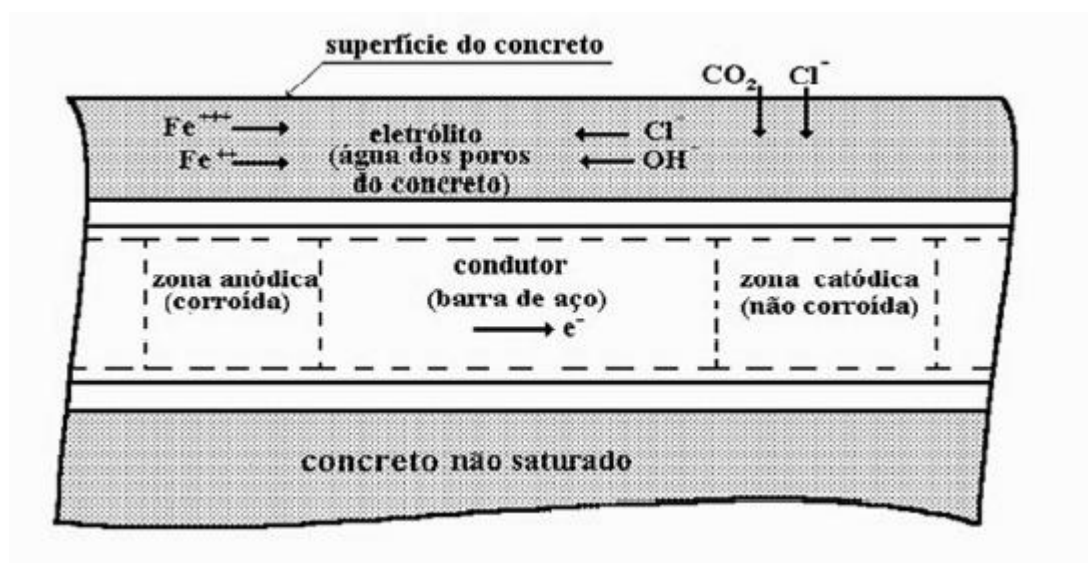


Figura 1.6. Célula de corrosão no concreto armado. (Souza e Ripper, 1998).

Os agentes agressivos normalmente encontram-se no meio externo. Porém, podem se encontrar no meio interno, por exemplo, através de água contaminada ou uso de aditivos que os possuam em sua composição, por exemplo. Sendo assim, é necessário avaliar a composição química dos materiais que estão sendo empregados para fabricação do concreto. Além disso, deve se ter atenção às características físicas do próprio concreto, como porosidade e espessura da camada de cobrimento adequados às condições de agressividade do ambiente.

A Figura 2.7 mostra como a atuação dos agentes corrosivos avança da parte mais externa para a mais interna da superfície do concreto, causando danos progressivos.



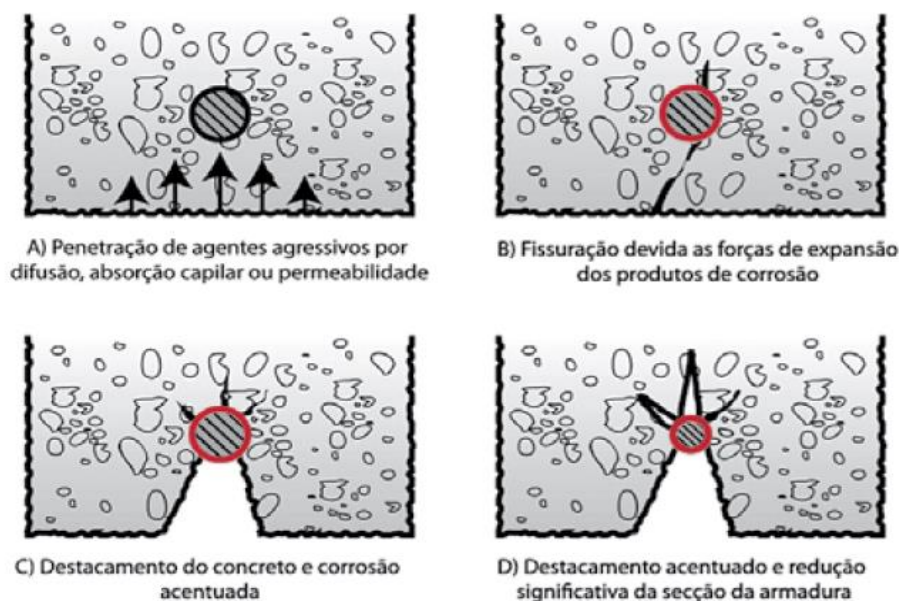
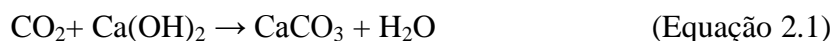


Figura 1.7. Fases do processo de corrosão na armadura (Helene apud Medeiros, 2011).

### 1.8.1 CARBONATAÇÃO

A carbonatação do concreto ocorre mesmo em concentrações normais de  $\text{CO}_2$  na atmosfera (0,03%). Esse fenômeno é intensificado em locais de grande concentração do gás carbônico, como viadutos, túneis e garagens. A carbonatação reduz o pH do concreto através de reações químicas com o hidróxido de cálcio, consumindo hidroxila (base).



Recomenda-se um bom controle do cobrimento das armaduras e a utilização de um concreto de baixa permeabilidade para se dificultar a penetração do  $\text{CO}_2$  no concreto por meio da difusão. É importante que seja feita também a impermeabilização das fissuras para que não sejam caminhos preferenciais para passagem dos agentes agressivos.

### 1.8.2 ATAQUES POR CLORETOS

Parte dos cloretos presentes no concreto reage com fases aluminoferríticas ( $\text{C}_3\text{A}$  e  $\text{C}_4\text{AF}$ ) formando os cloroaluminatos e parte fica adsorvida na parede dos poros. A parcela que verdadeiramente ataca a película passivadora do aço é a parte dos cloretos que ficam em forma de íons livre na água dos poros. Quando a relação  $\text{Cl}^-/\text{OH}^-$  atinge cerca de 1 é que se

inicia o processo de despassivação da armadura. A quantidade limite de cloretos em relação à massa de cimento é de 0,4%.

## 1.9 FISSURAÇÃO

As principais patologias em concreto armado podem ser resumidas na tabela 2.4 a seguir:

Tabela 1.4. Principais patologias em concreto armado (Castro, 2014).

Mecânica	Sobrecarga			Fissuração
	Impacto			
	Cargas Cíclicas			
	Restrição à variação de volumes sob gradientes normais de temperatura e umidade			
Física	Desgaste superficial	Atrito	Abrasão	Desgaste Superficial
			Erosão	
		Cavitação		
	Cristalização de sais			Fissuração Escamamento
	Congelamento e degelo			Expansão Fissuração Escamamento
Fogo			Fissuração Lascamento Desidratação de pasta	
Química	Lixiviação			Dissolução Decomposição Química
	Troca iônica	Ação dos sais		
		Ação dos ácidos		
	Formação de compostos expansivos	Sulfatos de sódio, potássio, cálcio e magnésio		Expansão Fissuração Decomposição Química
		Reação álcali-agregado		Expansão Fissuração
		Hidratação MgO e CaO		
	Corrosão da armadura			Expansão Fissuração
	Biológica			Dissolução Decomposição Química

Como se pode ver, a maior parte dos fenômenos de degradação do concreto envolve formação de fissuras. A fissura é o dano de ocorrência mais comum e que chama mais atenção dos leigos, proprietários e usuários para o fato de que algo anormal pode acontecer.

Fissuras podem ser canais de entrada de agentes agressivos para o interior do elemento, que age tanto no concreto quanto na armadura, afetando o desempenho do elemento. Apesar disso, são inevitáveis em estruturas de concreto armado, visto que a resistência do concreto à tração é comumente superada em condições normais de uso. Sendo assim, a tabela abaixo, retirada da ABNT NBR 6118:2014, define limites de abertura de fissuras em função do tipo de concreto e classe de agressividade ambiental a que está submetido.

Tabela 1.5. Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura em função das classes de agressividade ambiental (ABNT NBR 6118:2014)

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	–
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	Combinação frequente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação frequente
		ELS-D <sup>a</sup>	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D <sup>a</sup>	Combinação frequente

<sup>a</sup> A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com  $a_p = 50$  mm (Figura 3.1).

NOTAS

1 As definições de ELS-W, ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2.

2 Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV, exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham proteção especial na região de suas ancoragens.

3 No projeto de lajes lisas e cogumelo protendidas, basta ser atendido o ELS-F para a combinação frequente das ações, em todas as classes de agressividade ambiental.

As fissuras se caracterizam por sua:

- geometria: traçado, largura, profundidade;
- momento de aparecimento: antes, durante ou depois da pega, depois do endurecimento, antes ou depois de terminada a obra ou depois de a obra estar em serviço;

- evolução: fissura ativa ou passiva, variações de largura e comprimento;
- localização: tipo de elemento, orientação solar, etc.

As fissuras podem ter variadas origens. Podem originar-se no estado fresco ou endurecido do concreto ou, ainda, ser de origem mecânica.

### 1.9.1 ESTADO FRESCO

A tabela a seguir resume o surgimento de fissurações no estado fresco do concreto.

Tabela 1.6. Fissuras do concreto no estado fresco.

	<b>ORIGEM</b>	<b>CAUSA</b>	<b>DESCRIÇÕES</b>
<b>Estado Fresco</b>	Retração Autógena	Retração devido reações de hidratação (auto-secagem)	Produtos de hidratação têm menor volume que originalmente.
	Retração Plástica	Evaporação rápida de água	Parte mais seca (externa) é restrição para mais úmida (interna) causando fissuras; Pode ocorrer nos primeiros minutos; comum em superfícies extensas (lajes e paredes); são paralelas, formando ângulos de 45° com cantos; superficiais.
	Assentamento do concreto	As restrições formam barreiras à movimentação, gerando tensões no concreto	Ocorrem na região da restrição (interface com outro elemento, armadura, etc); Se a restrição for a armadura, a fissura pode gerar perda de aderência concreto-aço e ser canal para agentes agressores (corrosão).
	Movimentação de formas e escoras	Deformação das peças, diminuindo sua resistência	Antes do início da pega, podem ser remediadas por desempenho; Durante a pega, podem ser preenchidas com nata de cimento.

### 1.9.2 ESTADO ENDURECIDO

A tabela a seguir resume os processos de fissuração no concreto em estado endurecido.

Tabela 1.7. Fissuras do concreto no estado endurecido.

<b>Estado Endurecido</b>	<b>ORIGEM</b>	<b>CAUSA</b>	<b>DESCRIÇÕES</b>
	Retração por secagem	Redução de volume devido secagem rápida	A redução de volume da região superficial (seca) é limitada pela região interna do concreto (úmida), fazendo a região superficial fissurar; regiões com alta quantidade de finos; perpendiculares às armaduras principais em zonas de alta tensão em vigas e em pilares altamente armados; Fissuras de 0,1 a 0,2mm, semelhante às de origem térmica.
	Fissuração superficial/ mapeada	Umidade diferencial, movimentos térmicos e carbonatação	Região com excesso de finos; concreto com alto índice a/c e cimento; fissuras pequenas e finas; dano estético.
	Diferença de temperatura	Gradiente de temperatura	Concreto tem baixa condutividade térmica; a superfície se resfria primeiro, onde aparecem tensões de tração devido ao resfriamento (retração) posterior do concreto mais interno.
	Congelamento	Expansão da água	A água presente nos poros congela e se expande (9%), causando fissuras. (Fenômeno é reduzido com uso de ar incorporado).
	Ataque Ácido	Formação de sais de cálcio	Reação de ácidos com compostos de cálcio formam os sais de cálcio; produtos da reação são nocivos ao concreto (ex: causam expansão, são solúveis, etc).
	Ataque de sulfatos	Formação de composto expansivo	Sulfato solúvel reage com aluminato tricálcico formando etringita (expansivo); Fontes de sulfatos: águas subterrâneas, indústrias, esgotos domésticos.
	Reação Álcali-agregado	Formação de composto expansivo	Agregado com presença de sílica reativa que reage com os compostos alcalinos do cimento formando compostos expansivos; processo lento (5 a 30 anos).

### 1.9.3 FISSURAS DE ORIGEM ESTRUTURAL

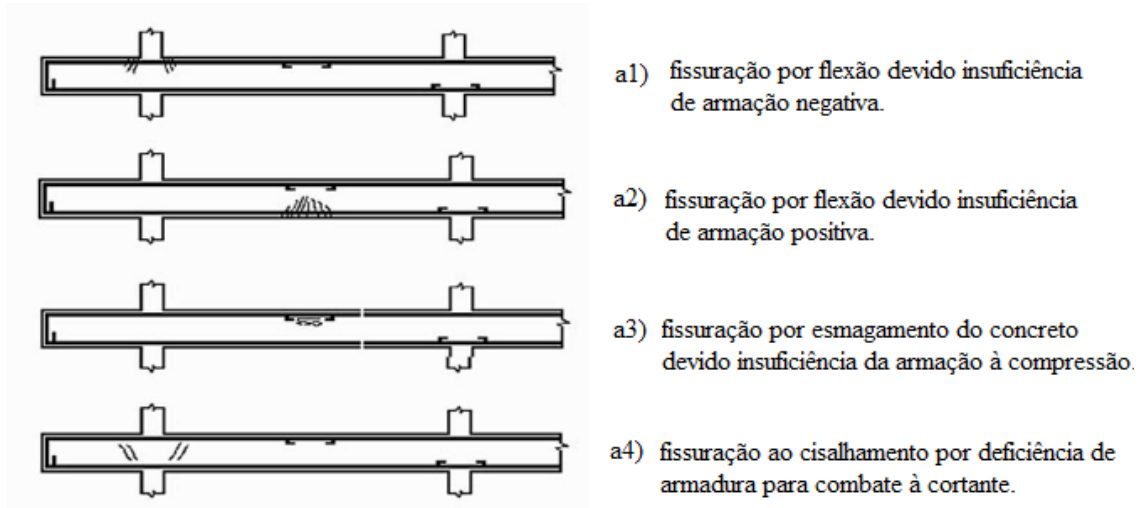
As fissuras estruturais surgem basicamente por quatro motivos: ação do carregamento, deformação excessiva, recalque e interação de um elemento com outros.

A ação de carregamentos causa deformação nos elementos estruturais e geram fissuras quando atingem os valores limites resistência do concreto ou aço. As fissuras mais comuns têm as origens a seguir:

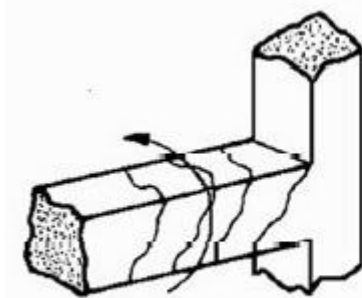
- flexão (pura ou composta), força cortante e torção em vigas;
- flexão, torção e puncionamento em lajes;

- flambagem, recalque, deficiência de armadura e falhas construtivas em pilares.

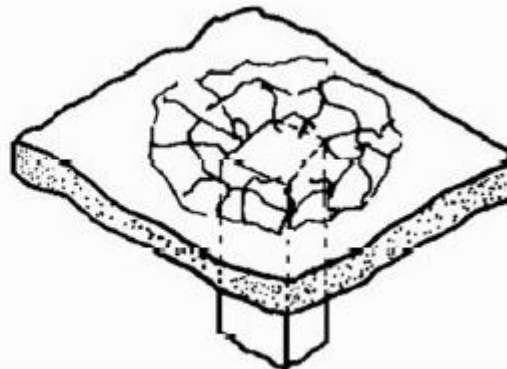
A figura a seguir mostra exemplos de fissuração por carregamento.



(a)



(b)



(c)

Figura 1.8. a) fissurações por insuficiência de armadura.

b) fissuração por esforço torçor.

c) fissuração por puncionamento.

(Souza e Ripper, 1998).

As deformações excessivas ocorrem principalmente devido ao grande índice de esbeltez dos elementos nas construções modernas, o que os torna mais deformáveis. Assim sendo, podem provocar vários tipos de fissuração, como em paredes de alvenaria e pisos.

Quanto às deformações por recalque, são geradas devido à deformação do solo. Basicamente, quando as deformações são diferenciadas no plano das fundações de uma obra, tensões de grande intensidade são introduzidas na estrutura gerando fissuras.

Há ainda a fissuração em um elemento gerada por movimentação em outro elemento. É o caso, por exemplo, de contração e dilatação térmica em lajes solidárias à paredes de alvenaria.

### **1.10 MANUTENÇÃO**

Segundo a ABNT NBR 5674:2012, manutenção significa “conjunto de atividades a serem realizadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional da edificação e de suas partes constituintes de atender as necessidades e segurança dos seus usuários”. É inviável sob os pontos de vista econômico e ambiental considerar edificações como produtos descartáveis, passíveis de simples substituição por novas construções. Por isso, elas são construídas e projetadas para durarem longos anos, apresentando condições adequadas ao uso para o qual se destinam.

A manutenção de edificações inclui todos os serviços realizados para prevenir ou corrigir a perda de desempenho decorrente da deterioração dos seus componentes, ou de atualizações nas necessidades de seus usuários, não incluindo, no entanto, serviços realizados para alterar o uso da edificação.

A manutenção pode ser dividida em três tipos:

- **rotineira:** fluxo constante de serviços simples e padronizados, em que os equipamentos e pessoal estão disponíveis na edificação;
- **planejada:** serviços marcados antecipadamente, baseados em solicitações dos usuários, estimativas de durabilidade de componentes ou relatórios de inspeção periódica sobre o estado de deterioração;
- **não-planejada:** serviços não previstos, como emergências ou prevenção de riscos graves e prejuízos pessoais e patrimoniais aos usuários ou proprietários.

A Lei de Sitter, ou Lei dos 5, retratada no diagrama a seguir, mostra que para manter ou atingir um determinado nível de durabilidade, os custos de intervenção aumentam progressivamente (progressão geométrica de razão 5) quanto mais tarde for essa intervenção.

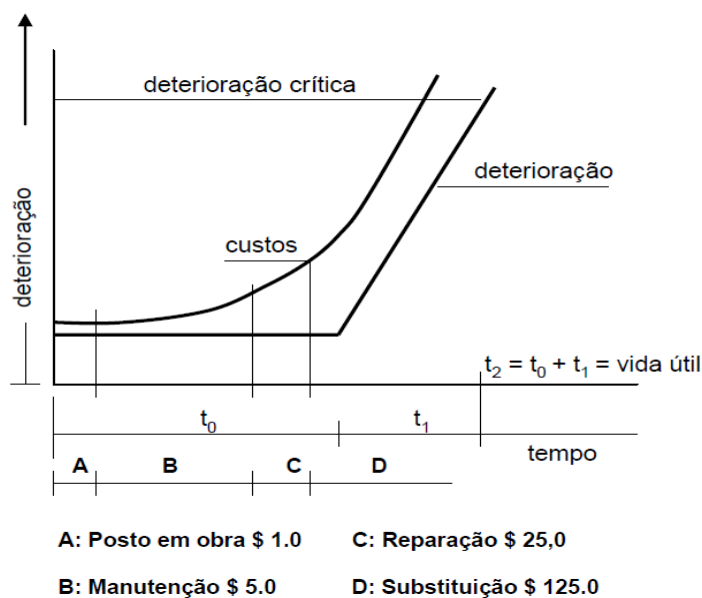


Figura 1.9. Lei dos 5 (Castro,1994 apud Sitter,1986).

As fases correspondem à:

FASE A – fase de projeto/construção executados adequadamente (projeto bem feito, execução cuidadosa, etc.). Retratam a boa prática de engenharia;

FASE B – alguns mecanismos de deterioração já se manifestam. Devem ser feitas atividades de manutenção localizadas (limpeza, pintura, correção de defeitos locais, etc);

FASE C – os mecanismos de deterioração são intensos, apresentando vários sintomas (fissuras, corrosão, etc.), demandando reparos significativos de forma ainda mais ou menos localizada; e

FASE D – a deterioração se mostra disseminada em toda a edificação, sendo que as opções de intervenção envolvem atividades de substituição e recuperação de elementos, bem como a demolição parcial ou global.



## 1.11 INSPEÇÃO

“Inspeção predial de uso e manutenção é a verificação, através de metodologia técnica, das condições de uso e de manutenção preventiva e corretiva da edificação”, segundo a ABNT NBR 15575-1:2013. Em geral, os passos adotados em uma metodologia genérica de inspeção são apresentados na figura a seguir.

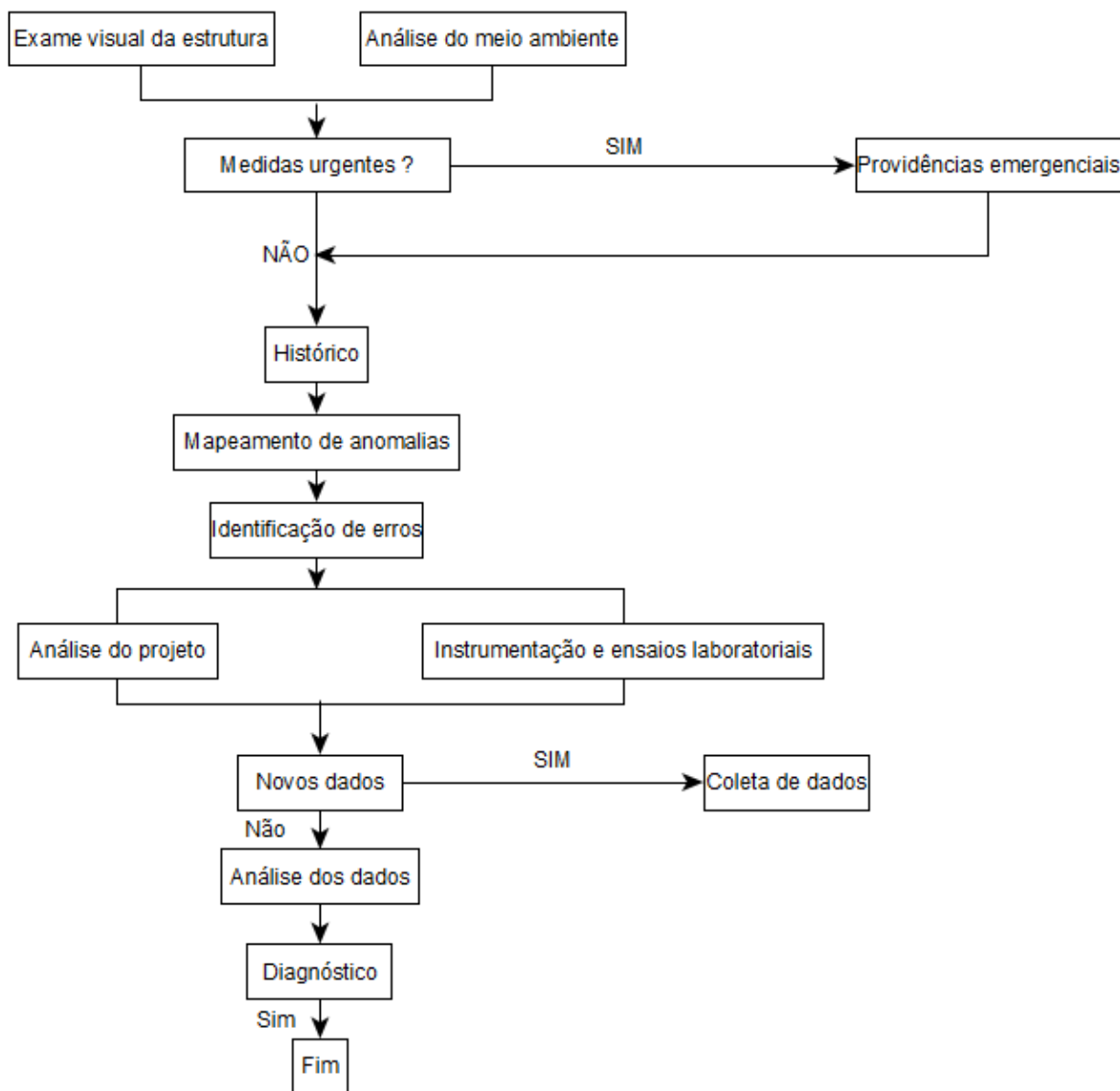


Figura 1.10. Fluxograma genérico para diagnose de uma estrutura convencional  
(Modificado - Souza e Ripper, 1998).

A seguir, será descrita a metodologia de inspeção a ser usada para fins deste projeto.

## **2 METODOLOGIA PARA QUANTIFICAÇÃO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO**

### **2.1 VISÃO GERAL**

A metodologia de inspeção utilizada neste projeto é chamada Gde/UnB ou PECC/UnB, criada por Castro (1994) baseada em uma formulação proposta por Klein et al (1991). Essa metodologia é aplicada à estruturas de concreto armado convencionais e estabelece critérios para quantificação do grau de deterioração de elementos e/ou da estrutura como um todo. A Gde/UnB baseia-se em parâmetros que avaliam as manifestações mais frequentes de danos e sua evolução e também a influência do meio ambiente na estrutura. O resultado é dado pelo cálculo do grau de deterioração da estrutura a partir parâmetros avaliados e quantificados por meio de valores tabelados pelo Caderno de Inspeção, que compõe a metodologia.

Lopes (1998) modificou essa metodologia ao observar a necessidade de alteração da nomenclatura das famílias, o acréscimo de mais tipos de danos e a realização de alguns ensaios, além de produzir uma formulação com resultado mais consistente para determinação do grau de deterioração de um elemento ( $G_{de}$ ). Com esta última modificação, o  $G_{de}$  fica independente do número de danos na estrutura, eliminando o problema de se omitir certas manifestações na inspeção para evitar a superposição com outros danos já considerados.

Boldo (2002) propôs uma nova modificação, formulando uma nova forma de cálculo do grau de deterioração de uma família de elementos ( $G_{df}$ ), que ressalta o elemento em piores condições de deterioração dentro da família de elementos.

Em 2007, a metodologia Gde/UnB sofreu nova modificação. Proposta por Fonseca, a forma de conceituação dos danos foi reformulada nos seguintes aspectos: roteiro de inspeção, fatores de intensidade ( $F_i$ ), fatores de ponderação ( $F_p$ ), grau do dano ( $D$ ) e na tabela de classificação do grau de deterioração do elemento ( $G_{de}$ ) e da estrutura ( $G_d$ ).

### **2.2 A METODOLOGIA**

Os procedimentos a serem seguidos para o desenvolvimento de inspeções estruturais e avaliação dos resultados, segundo a Gde/UnB, estão sistematicamente apresentados no fluxograma da Figura 3.1.

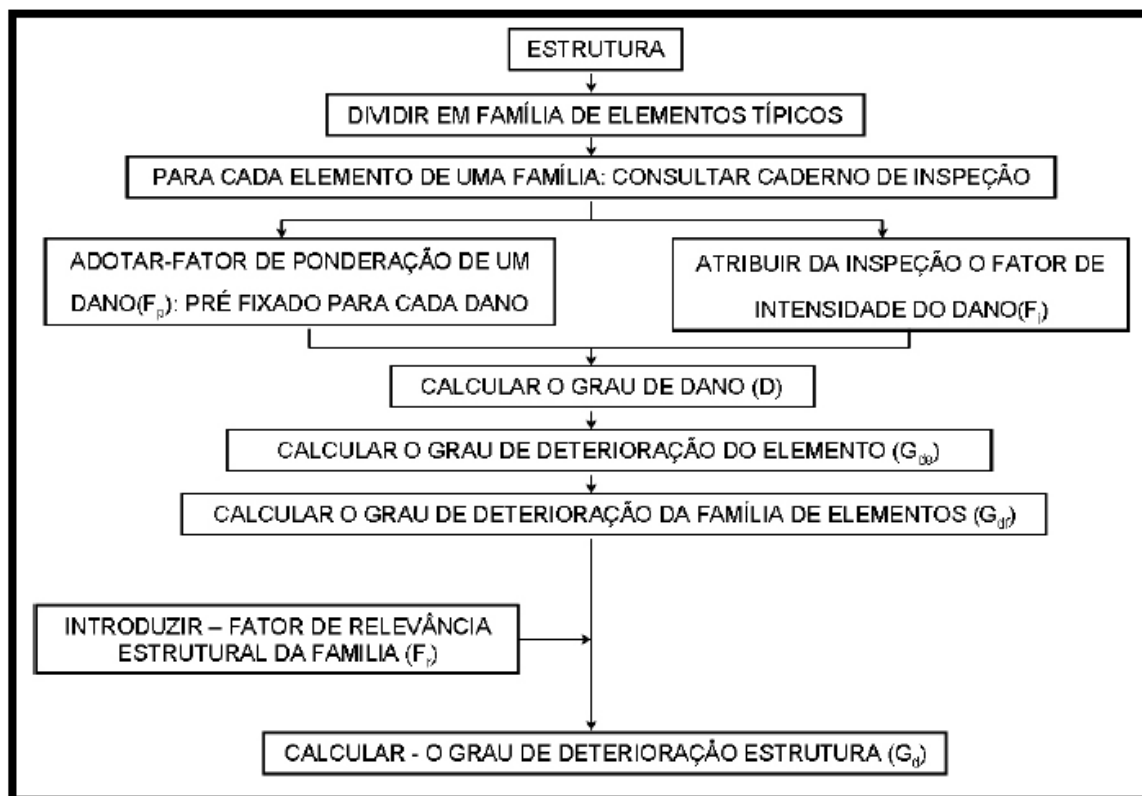


Figura 2.1. Fluxograma para avaliação do grau de deterioração de estruturas de concreto da metodologia GDE/UnB (Fonseca, 2007)

O fator de ponderação de um dano ( $F_p$ ) é relacionado com a estética, funcionalidade e estabilidade de um determinado elemento (viga, pilar, laje). Uma determinada manifestação patológica pode ter fatores de ponderação diferentes de acordo com as características da família onde o elemento se insere, dependendo das consequências que o dano possa acarretar.

A metodologia original estabelecia valores para  $F_p$  que variavam de 0 a 10. Visto que os danos se encontravam majoritariamente classificados acima de 5, a metodologia atual altera essa escala para 1 a 5. Dessa forma,  $F_p=5$  é o valor para a situação mais desfavorável.

O fator de intensidade do dano ( $F_i$ ) classifica o nível de gravidade e a evolução de uma manifestação de dano em um determinado elemento, segundo uma escala de 0 a 4, como a seguir:

Tabela 2.1. Fator de intensidade do dano segundo a gravidade da manifestação (Fonseca, 2007).

<b>MANIFESTAÇÃO</b>	<b>F<sub>i</sub></b>
Elemento sem lesões	0
Elemento com lesões leves	1
Elemento com lesões toleráveis	2
Elemento com lesões graves	3
Elemento em estado crítico	4

Visto que uma pontuação assim poderia ser muito subjetiva, Fonseca apresenta uma classificação dos tipos de danos mais frequentes em edificações usuais de concreto armado, identificando o nível de gravidade e descrevendo a intensidade das manifestações em seu Roteiro de Inspeção para estruturas de concreto.

O grau de dano (D) tem por objetivo quantificar a manifestação de cada dano no elemento. Este é calculado a partir do fator de ponderação (F<sub>p</sub>) e do fator de intensidade (F<sub>i</sub>), como visto a seguir.

Tabela 2.2. Equações para cálculo do grau de dano (Fonseca, 2007).

<b>Dano (D)</b>	<b>F<sub>i</sub></b>
$D = 0,8 F_i F_p$	$F_i \leq 2,0$
$D = (12F_i - 28) F_p$	$F_i \geq 3,0$

Assim, o parâmetro D depende das variáveis F<sub>p</sub> ( $0 \leq F_p \leq 5$ ), inerente a cada manifestação de dano e pré-estabelecido para a família, e F<sub>i</sub> ( $0 \leq F_i \leq 4$ ), atribuído pelo profissional responsável pela inspeção. Portanto, independente da escala, os valores de D serão os mesmos para cada F<sub>i</sub>, e sua representação gráfica é dada por um volume formado com o plano F<sub>p</sub>=5, como mostra a Figura 3.2.

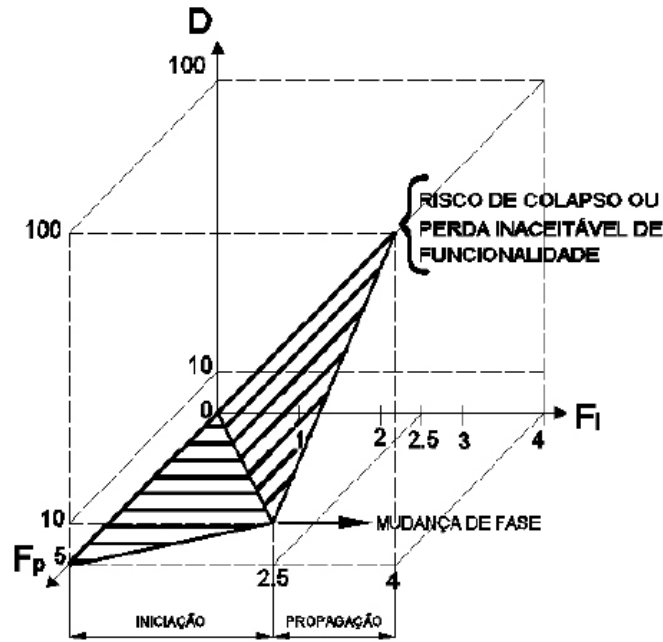


Figura 2.2. Grau do dano (D) x Fator de intensidade do dano (Fi) para Fp=5 (Fonseca, 2007).

O grau de deterioração ( $G_{de}$ ) é determinado em função das manifestações dos danos detectados no elemento pela inspeção. A equação que o quantifica e é apresentada a seguir:

$$G_{de} = D_{\max} \left( 1 + \frac{\sum_{i=1}^m D_{(i)} - D_{\max}}{\sum_{i=1}^m D_{(i)}} \right) \quad (\text{Equação 3.1})$$

onde:

$D_{\max}$  = maior grau de dano no elemento;

m = número de danos detectados no elemento;

$D_{(i)}$  = grau de dano de ordem i.

A partir do valor de  $G_{de}$ , classifica-se o elemento quanto ao nível de deterioração e têm-se os prazos de planejamento em que as intervenções devem ser realizadas, como se vê na Tabela 3.3 abaixo.

Tabela 2.3. Classificação dos níveis de deterioração do elemento pela metodologia GDE/UnB (Fonseca, 2007).

Nível de deterioração	G <sub>de</sub>	Ações a serem adotadas
Baixo	0 - 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 – 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máx. 2 anos).
Alto	50 – 80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 1 ano).
Sofrível	80 - 100	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 6 meses).
Crítico	> 100	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

A metodologia atualizada inseriu o nível “crítico” de deterioração, modificou o intervalo nas classificações “médio” e “alto” e também alterou alguns prazos de intervenções em relação à metodologia original (Castro,1994).

O grau de deterioração de uma família (G<sub>df</sub>) visa evidenciar os elementos mais danificados, não os mascarando por elementos menos deteriorados, evitando-se, porém, uma supervalorização do grau de deterioração da estrutura. Para isso, a fórmula atualizada para cálculo de G<sub>df</sub> é apresentada a seguir.

$$G_{df} = G_{demáx} \left[ \sqrt{1 + \frac{\sum_{i=1}^m G_{de(i)} - G_{demáx}}{\sum_{i=1}^m G_{de(i)}}} \right] \quad (\text{Equação 3.2})$$

Onde:

G<sub>demáx</sub> = maior G<sub>de</sub> entre os elementos da família com G<sub>de</sub> ≥ 15.

São considerados apenas valores de G<sub>de</sub> ≥ 15, sendo G<sub>df</sub> = 0 quando G<sub>de</sub> < 15.

Assim, o grau de deterioração da estrutura (G<sub>d</sub>) é obtido pela média aritmética dos graus de deterioração das famílias de elementos da estrutura (G<sub>df</sub>), ponderada pelo fator de relevância estrutural (Fr), variando entre valores de 1 a 5 de acordo com as famílias, como se vê a seguir.

Tabela 2.4. Fatores de relevância estrutural (Fr) para famílias de elementos  
(Fonseca,2007).

Família	Fr
Elementos de composição arquitetônica	1,0
Reservatório superior	2,0
Escadas/rampas, reservatório inferior, cortinas, lajes secundárias, juntas de dilatação	3,0
Lajes, fundações, vigas secundárias, pilares secundários	4,0
Vigas e pilares principais	5,0

A expressão a seguir calcula o  $G_d$ , onde k representa o conjunto das famílias que compõem a estrutura:

$$G_d = \frac{\sum_{i=1}^k F_{r(i)} \cdot G_{df(i)}}{\sum_{i=1}^k F_{r(i)}} \quad (\text{Equação 3.3})$$

Calculado o valor de  $G_d$ , classifica-se a estrutura semelhantemente à classificação dos níveis de deterioração  $G_{de}$ , como se vê na tabela abaixo.

Tabela 2.5. Classificação dos níveis de deterioração da estrutura pela metodologia GDE/UnB (Fonseca, 2007).

Nível de deterioração	$G_d$	Ações a serem adotadas
Baixo	0 - 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 - 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máx. 2 anos).
Alto	50 - 80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 1 ano).
Sofrível	80 - 100	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 6 meses).
Crítico	> 100	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

## **2.3 RESULTADOS DE TRABALHOS ANTERIORES APLICANDO A METODOLOGIA GDE/UNB**

Algumas edificações do Campus Darcy Ribeiro, Universidade de Brasília, já foram inspecionadas e avaliadas segundo a metodologia Gde/UnB atualizada por Fonseca. Foram elas: Instituto Central de Ciências (ICC) e Reitoria. A Tabela 3.6 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 2.6. Nível de deterioração do ICC e Reitoria (modificado – Fonseca, 2007).

Edificação	Nível de deterioração da estrutura (Gd)
ICC	99 (Sofrível)
Reitoria UnB	76 (Alto)

O prédio do ICC foi inaugurado no ano de 1971. Quando Fonseca (2007) realizou a inspeção predial no ICC, essa estrutura já apresentava a idade de 36 anos. Na inspeção realizada por Freitas (2006) na Reitoria, a estrutura apresentava a idade de 32 anos. A inauguração da Reitoria ocorreu no ano de 1974.

Juntamente aos dados levantados com a avaliação da Biblioteca, os resultados do grau de deterioração obtidos para o ICC e Reitoria irão subsidiar o banco de dados do plano de gestão da manutenção dos edifícios da Universidade.



### **3 A EDIFICAÇÃO**

#### **3.1 HISTÓRICO**

A Biblioteca Central da Universidade de Brasília foi criada, em 1962, opondo-se à tradição da época de múltiplas bibliotecas dispersas nas várias unidades de ensino das universidades – um sistema oneroso que gerava duplicações desnecessárias de acervo e de processos técnicos e administrativos. Desde então, percorreu uma trajetória ímpar de mudanças, recuos e avanços.

As primeiras instalações da BCE se deram na Esplanada dos Ministérios, no edifício do Ministério da Educação e Cultura, em março de 1962, onde funcionava a Universidade de Brasília na época. Em julho de 1962, a Biblioteca Central foi transferida para a Sala dos Papiros, localizada em um dos primeiros prédios construídos no campus da UnB, no edifício onde atualmente funciona a Faculdade de Educação. Com o crescimento do acervo, em janeiro de 1964, a BCE passou a ocupar o térreo e subsolo do SG-12.

Em março de 1967, com os recursos da Fundação Ford, o Drº Frazer G. Poole, especialista em arquitetura de bibliotecas, foi convidado a auxiliar no planejamento definitivo da BCE, elaborado detalhado programa de especificações técnicas. Através do Programa para o Desenvolvimento do Ensino Superior no Brasil, estabelecido entre o Ministério da Educação e Cultura (MEC) e o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), obteve-se o financiamento para a construção do edifício.

Cinco anteprojetos foram elaborados pelo Centro de Planejamento da Universidade de Brasília (CEPLAN), entretanto não lograram aprovação do BID por não atenderem as regras requeridas.

Em 1968, uma nova equipe de arquitetos do CEPLAN elaborou novo projeto que foi aprovado. Participaram deste trabalho os arquitetos José Galbinski, Miguel Alves Pereira, Jodete Rios Sócrates, Walmir Santos Aguiar e os bibliotecários Rubens Borba de Moraes, Edson Nery da Fonseca, Antônio Agenor Briquet de Lemos e Elton Eugenio Volpini.

O edifício de 16.000 m<sup>2</sup>, com capacidade para um milhão de volumes e dois mil usuários, localiza-se na Praça Maior da UnB, lugar destinado por Lúcio Costa e Oscar Niemeyer. A

mudança definitiva da BCE para o seu prédio ocorreu em março de 1973.

A localização do edifício da Biblioteca Central no Campus Darcy Ribeiro, UnB, pode ser visualizada na Figura 4.1. No edifício em anexo à BCE, funciona também o Departamento de Ciências da Informação (CID/UnB).

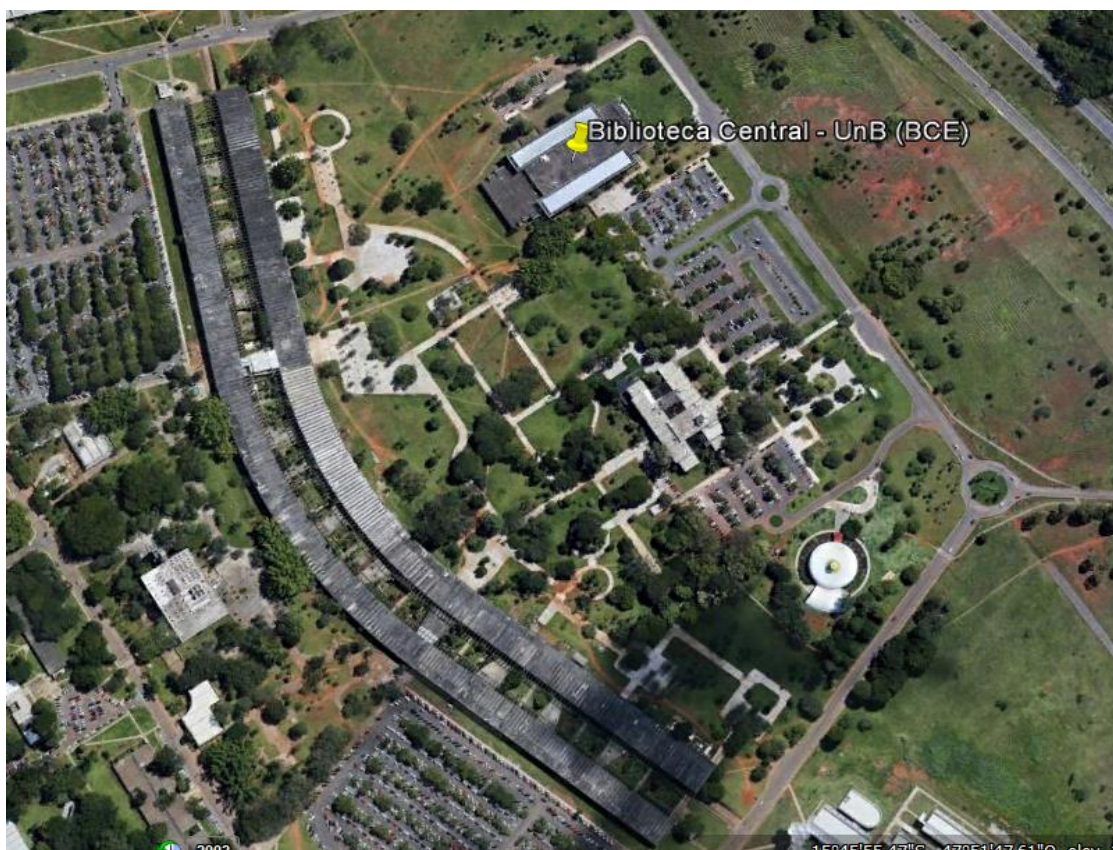


Figura 3.1. Localização BCE/ UnB (Google Earth, 2014).

### 3.2 ARQUITETURA E DETALHES CONSTRUTIVOS

A edificação da BCE têm três níveis: subsolo, pavimento inferior (térreo) e pavimento superior. As Figuras 4.2 e 4.3 apresentam as plantas de forma originais dos níveis citados, fornecidas pelo Centro de Planejamento Oscar Niemeyer – CEPLAN/UnB.

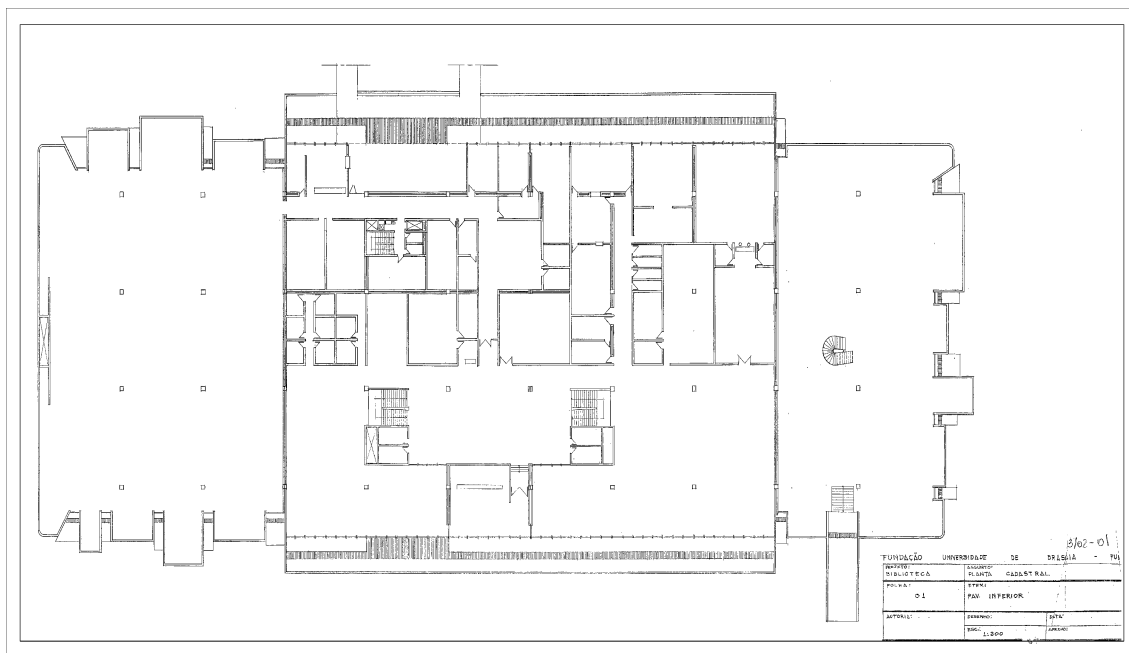


Figura 3.2. Planta do térreo (CEPLAN).

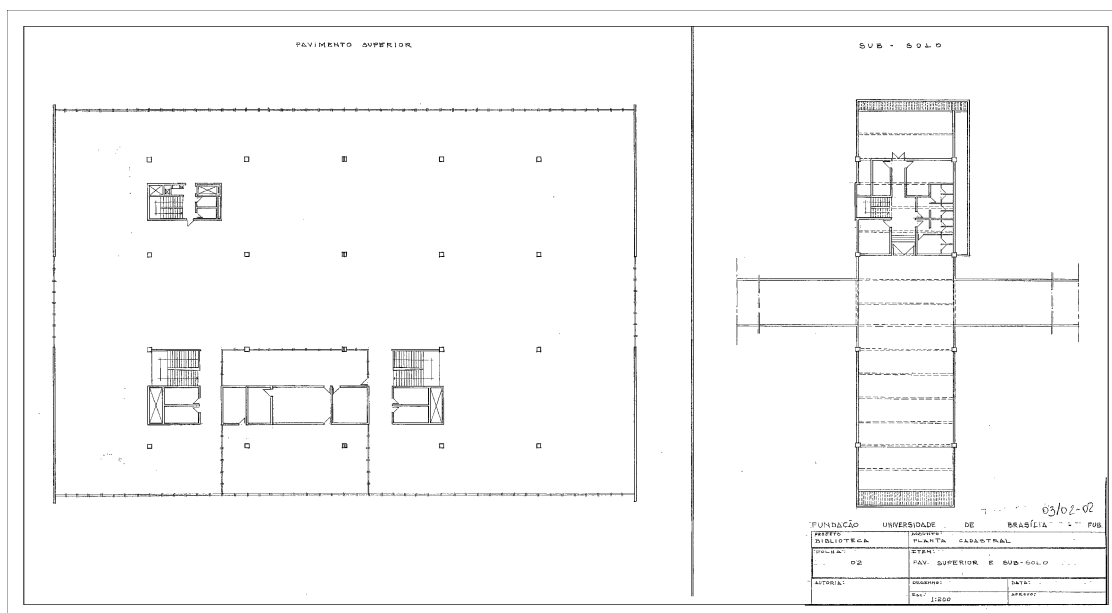


Figura 3.3. Plantas do pavimento superior e subsolo (CEPLAN).

A planta de forma da cobertura do pavimento superior da BCE pode ser visualizada pela Figura 4.4.

A laje de cobertura é formada por placas de concreto de dimensões  $11,76 \times 11,76 \text{ m}^2$  apoiadas em pilares de seção  $51 \times 51 \text{ cm}^2$ . As placas são formadas por placas menores de média de  $145 \times 50,5 \text{ cm}^2$  e 5 cm de espessura.

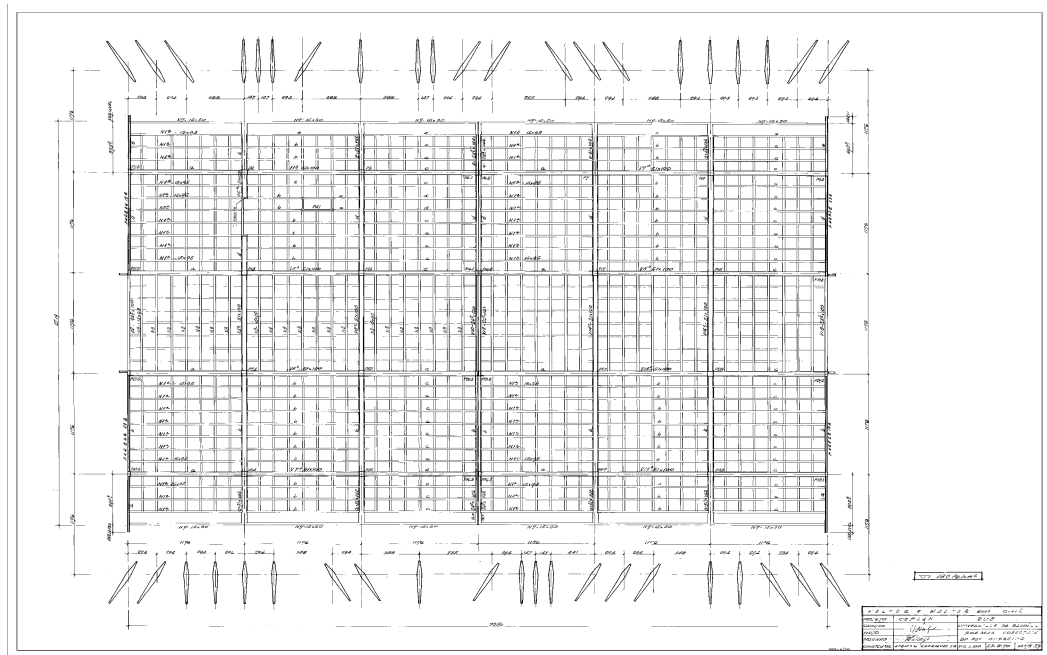


Figura 3.4. Planta de forma da laje de cobertura (CEPLAN).

As Figuras 4.5. e 4.6. mostram a planta estrutural das lajes de coroamento da BCE e seu detalhamento, respectivamente.

As lajes de coroamento possuem 83,79 metros de comprimento e 17,64 metros de largura, sendo que cada laje apresenta 56 vigas transversais.

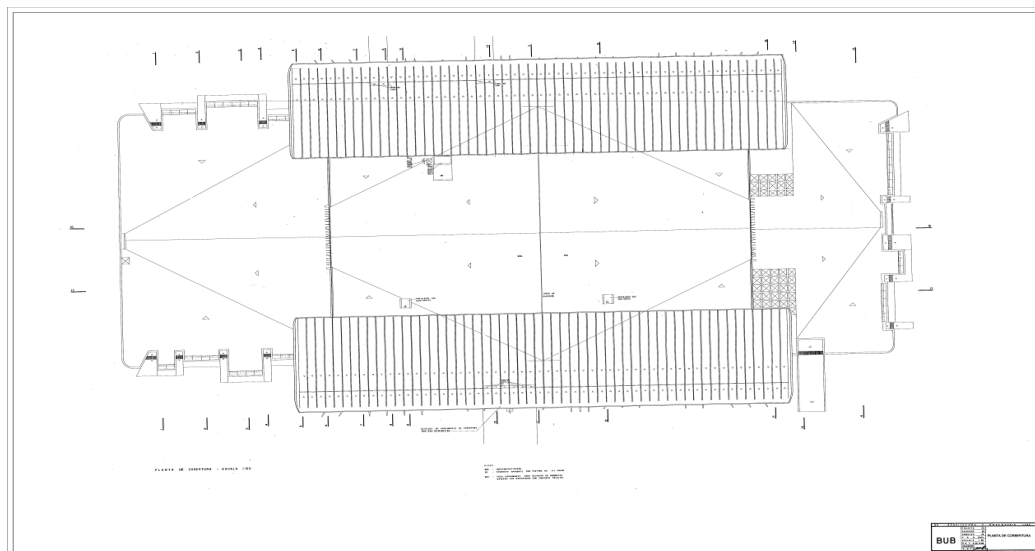


Figura 3.5. Planta estrutural das lajes de coroamento (CEPLAN).

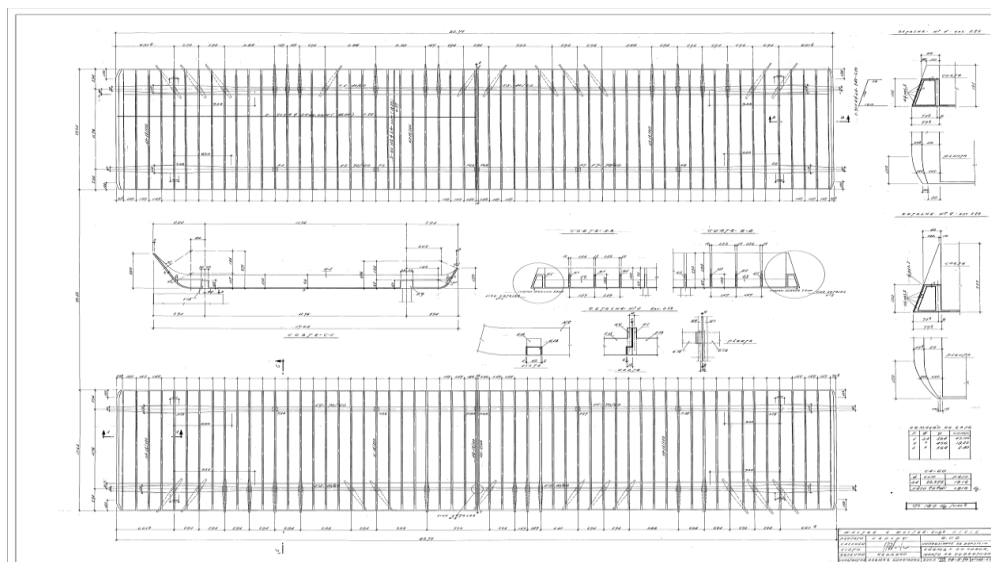


Figura 3.6. Detalhamento das lajes de coroamento (CEPLAN).

As plantas mostradas acima permitem a visualização e entendimento geral da estrutura do prédio da Biblioteca e serão de grande utilidade para a futura análise dessas estruturas.

Em entrevista com o arquiteto José Galbinski, feita por Pena e Lourenço (2008), pôde-se compreender melhor alguns detalhes construtivos da estrutura. Um deles é a explicação para a distância escolhida para afastamento entre pilares: o planejamento foi feito em função das dimensões das estantes de livros da Biblioteca e estendida para a concepção arquitetônica do edifício.

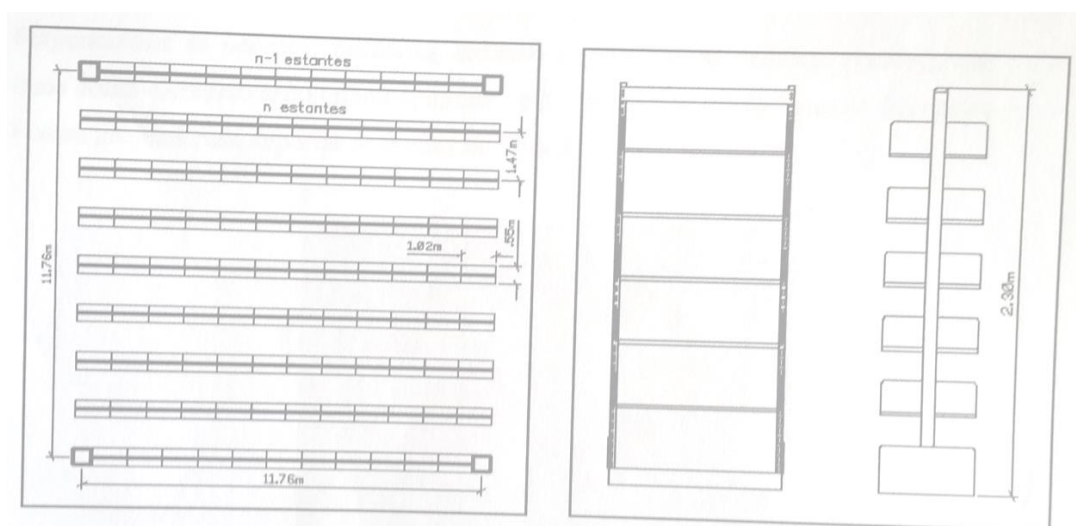


Figura 3.7. Concepção arquitetônica dos pilares e estantes de livros na BCE/UnB (Pena e Lourenço, 2008).



Galbinski também explica as lajes de coroamento: funcionam como um “ar condicionado” ao promover a circulação de ar na Biblioteca. O que ocorre é troca de ar frio dentro do prédio com o ar quente que fica em baixo das lajes de coroamento.

Nas Figuras 4.8 e 4.9 a seguir, estão apresentadas fotografias da fachada da Biblioteca Central (BCE/UnB) e seu visível estado de deterioração.



Figura 3.8. Vista da fachada da BCE/UnB – entrada de funcionários (Novembro, 2014).



Figura 3.9. Vista da fachada da BCE/UnB – entrada dos alunos (Novembro, 2014).

## 4 ANÁLISE DA BIBLIOTECA COM APLICAÇÃO DA METODOLOGIA GDE

A inspeção da BCE foi realizada entre os meses de Outubro e Novembro do ano 2014. Nesse projeto, foram analisados os pilares (brises) externos, as juntas de dilatação da laje de cobertura e das lajes de coroamento e as próprias lajes de coroamento. Baseando-se nas premissas da Metodologia GDE, as patologias foram identificadas, analisadas e registradas em planilha do software Microsoft Excel (2010) e fotografadas.

As informações sobre as intervenções anteriores realizadas na BCE foram concedidas por funcionários da biblioteca, em especial dois funcionários: Walter, chefe de serviços gerais da BCE e Fábio, auxiliar de serviços gerais.

### 4.1 JUNTAS DE DILATAÇÃO

As juntas de dilatação são elementos estruturais responsáveis por permitir os movimentos de expansão e retração de origem térmica de um edifício, garantindo elasticidade aos deslocamentos e evitando a geração de esforços adicionais à estrutura. Assim, as juntas de dilatação devem ser preenchidas com material adequado (com propriedades elásticas) e que garantam estanqueidade à ação da água, evitando infiltrações no interior do edifício.

Na inspeção da Biblioteca, foram analisadas as três juntas de dilatação da laje de cobertura e a única junta de dilatação de cada laje de coroamento. A fim de facilitar a nomeação, estudos e análises desse projeto, as lajes foram divididas segundo as juntas de dilatação e identificadas por letras. A seguir, as Figuras 5.1 e 5.2 destacam os elementos estudados.

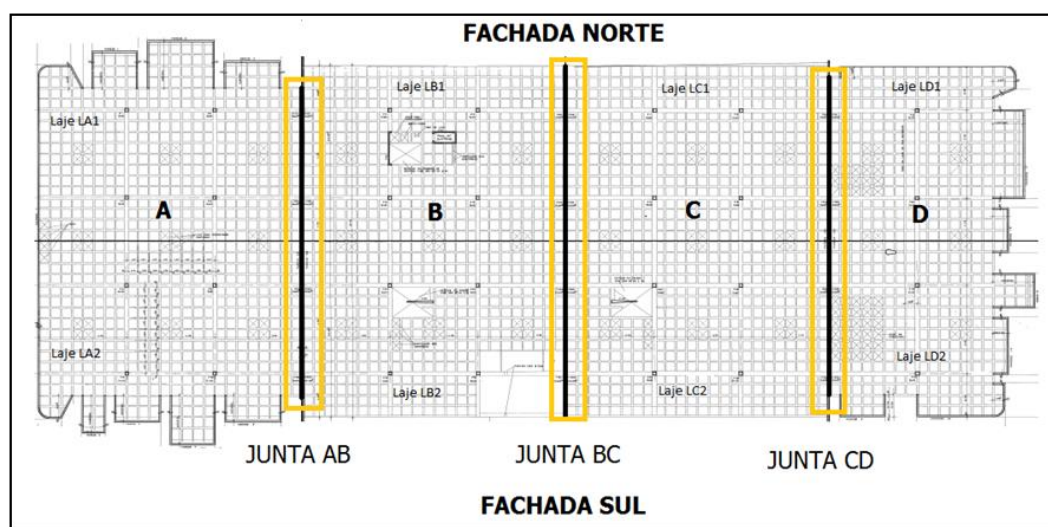


Figura 4.1. Juntas de dilatação das lajes de cobertura.

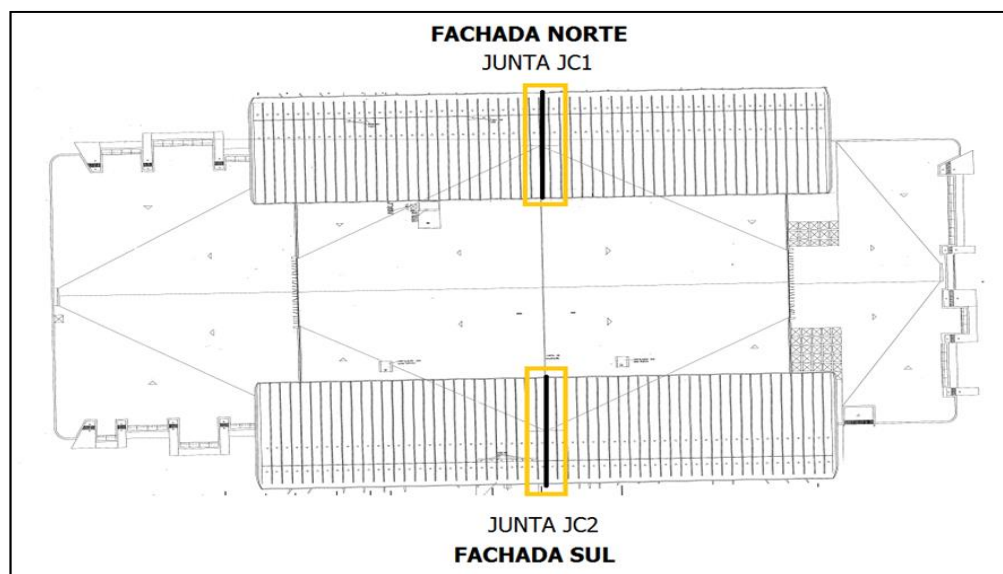


Figura 4.2. Juntas de dilatação das lajes de coroamento.

Foi denominada “fachada norte” o lado da biblioteca onde existe a entrada dos funcionários e servidores. Já a “fachada sul” é aquela onde há o acesso dos estudantes.

#### 4.1.1 JUNTAS DE DILATAÇÃO DA LAJE DE COBERTURA

A laje de cobertura possui 3 juntas de dilatação. Todas as juntas apresentam 2 centímetros de largura. Essas juntas foram nomeadas segundo a identificação dos trechos de laje adjacentes à elas. Assim, a junta posicionada entre os trechos A e B é denominada junta AB, e assim sucessivamente. A Figura 5.1 esclarece essa classificação.

Nas três juntas – AB, BC e CD – foram identificados os danos “Umidade” e “Obstrução de Junta”.

As três juntas de dilatação possuem revestimento com capa de concreto para evitar infiltração. Segundo informação de funcionários, já houve reforço dessa capa de concreto e troca do material que veda superficialmente a abertura das juntas, porém, ainda relata-se infiltração, em especial na junta AB. Inclusive, pode-se observar que sobre a capa de concreto dessa junta foi aplicada uma manta na tentativa de reforçar a impermeabilização. A junta AB está presente na área onde atualmente funciona o Acervo da Biblioteca, inclusive há isolamento da região logo abaixo da junta para não danificar os livros.

As Figuras 5.3 à 5.7, a seguir, mostram detalhes e danos encontrados nas juntas de dilatação na vistoria sob a laje de cobertura.





Figura 4.3 e 5.4. Juntas de dilatação AB e CD, respectivamente.



Figura 4.4 e 5.5. Junta de dilatação BC central e detalhe das borrachas deterioradas.



Figura 4.6 e 5.7. Manchas e umidade na junta BC.

Além disso, na vistoria interna à edificação, foi registrada a presença de materiais de preenchimento já antigos e degradados, que perderam a funcionalidade elástica e de vedação, de tal forma que passam a ser obstruções à junta. Em alguns trechos, a degradação intensa

gerou, também, regiões de vazios.



Figura 4.8 e 5.9. Material degradado no preenchimento da junta AB.



Figura 4.10 e 5.11. Vazios em trecho da junta AB por degradação de material de preenchimento.

A junta CD possui apenas um pequeno trecho visível na parte interna da edificação. Essa junta situa-se na seção que divide o bloco central da BCE do seu anexo, onde funciona a FCI – Faculdade de Ciência da Informação. Analisando a junta, pode-se claramente notar manchas de eflorescência que evidenciam o dano umidade. Além disso, observa-se a existência de uma comprida fissura formada paralelamente à junta CD. Essa fissuração indica que a junta não consegue trabalhar de forma a garantir a movimentação adequada à estrutura, promovendo esforços adicionais que originam fissuras. Como a junta não está à mostra, por meio da análise visual pode-se deduzir que a causa da fissuração foi o preenchimento da fissura por material rígido. As figuras 5.12 e 5.13 retratam a junta CD e detalhes.



Figura 4.12. Vista interna da junta CD.



Figura 4.13. Detalhes de manchas e fissuras próximas à junta CD.

A análise da junta CD permite concluir que a intervenção realizada foi feita de forma inadequada, sem critérios técnicos. Medidas de manutenção não devem ser realizadas sem adequado planejamento e conhecimento técnico, caso contrário, são passíveis de potencializar os danos ao invés de corrigi-los. A intensificação dos danos promove não apenas a necessidade de uma nova intervenção, mas também requer uma manutenção mais complexa, requerendo gastos maiores que os inicialmente previstos para o dano.

#### **4.1.2 JUNTAS DE DILATAÇÃO DAS LAJES DE COROAMENTO**

As juntas da laje de coroamento são identificadas segundo a posição da loje em que se encontram. Assim, a junta da laje de coroamento voltada para a fachada norte identifica-se como junta JC1. A junta voltada para a fachada sul é denominada junta JC2.

As juntas JC1 e JC2 apresentaram os danos “Umidade” e “Obstrução de Junta”, como se pode ver pelas figuras a seguir.





Figura 4.14 e 5.15. Obstrução e umidade na junta JC2.



Figura 4.16 e 5.17. Obstrução e umidade na junta JC1.

Apesar de ambas as juntas JC1 e JC2 já terem passado por intervenções, é notório que ainda ocorre de infiltração na região das juntas, com aparição de grandes manchas de eflorescência, como evidenciado pelas fotos de D a G. As juntas de dilatação das lajes de coroamento sofreram intervenção de impermeabilização, buscando evitar a infiltração de águas pluviais pelas aberturas da junta. As figuras 5.18 e 5.19 mostram as duas juntas.



Figura 4.18 e 5.19. Impermeabilização das juntas JC1 e JC2, respectivamente.

### 4.1.3 RESULTADOS

Após realizar as análises visuais e registros fotográficos das cinco juntas, fez-se a avaliação dos danos pela aplicação da Metodologia GDE. Assim, foi possível encontrar os resultados do grau de deterioração de cada elemento estudado, como mostra a Tabela 5.1.

Tabela 4.1. Resultado da análise das juntas de dilatação.

Juntas de Dilatação		Laje de Cobertura						Lajes de Coroamento			
Dano	Fp	Junta AB		Junta BC		Junta CD		JC1		JC2	
		Fi	D	Fi	D	Fi	D	Fi	D	Fi	D
Obstrução de junta	5	2	8	2	8	2	8	4	100	4	100
Umidade	5	4	100	3	40	3	40	3	40	3	40
Gde		107,41		46,67		46,67		128,57		128,57	

O valor elevado encontrado para o grau de deterioração das juntas das lajes de coroamento indica o estado crítico desse elemento. Apesar de a umidade contribuir para a degradação dessas juntas, é evidente a gravidade do dano “Obstrução das juntas”. Sua incapacidade em acomodar a amplitude dos movimentos térmicos, gera a fissuração dos pilares e vigas adjacentes. A Figura 5.20 e Figura 5.21. mostra a fissuração em um pilar de suporte da laje de coroamento.



Figuras 4.20 e 5.21. Fissuração em pilar de sustentação da laje de coroamento e detalhe de fissuração.

A junta AB também apresenta resultado crítico de deterioração, em especial devido à umidade. Como já citado, existe infiltração de água para o interior da biblioteca, inclusive causando isolamento da área abaixo da junta, como mostram as Figuras 5.22 e 5.23.



Figura 4.22 e 5.23. Regiões isoladas abaixo da junta AB: região voltada para fachada norte e fachada sul, respectivamente.

A partir dos valores de Gde encontrados para cada junta, obteve-se o Grau de deterioração da família de elementos – Gdf.

Tabela 4.2. Valor de Gdf para as juntas de dilatação.

Juntas de dilatação	
Gdf	168,58

O grau de deterioração encontrado é crítico, indicando necessidade de inspeção especializada imediata e adoção de providências emergenciais.

## 4.2 LAJES DE COROAMENTO

As lajes de coroamento são elementos notórios da composição arquitetônica da BCE. Essas lajes também chamam atenção por sua característica funcional: promover o resfriamento da parte interna da edificação. Esse resfriamento se dá pelo fenômeno da convecção do ar: o ar quente tende a subir, enquanto o ar frio tende a descer. Assim, entre a laje de coroamento e a laje de cobertura da biblioteca se formam correntes de convecção que promovem a circulação do ar.

Cada laje de coroamento possui dimensões de  $83,19 \times 17,64 \text{ m}^2$  e é composta de 56 vigas transversais. A sua nomeação foi feita denominando-se LC1 a laje voltada para a fachada norte da biblioteca e LC2 a laje voltada para a fachada sul. Além disso, como cada laje é muito extensa e considerando que a junta de dilatação divide cada laje em duas partes, parte A e parte B, as lajes foram divididas em quatro trechos para facilitar a análise durante a inspeção



desse elementos: LC1-A, LC1-B, LC2-A e LC2-B. A figura a seguir esclarece essa classificação.

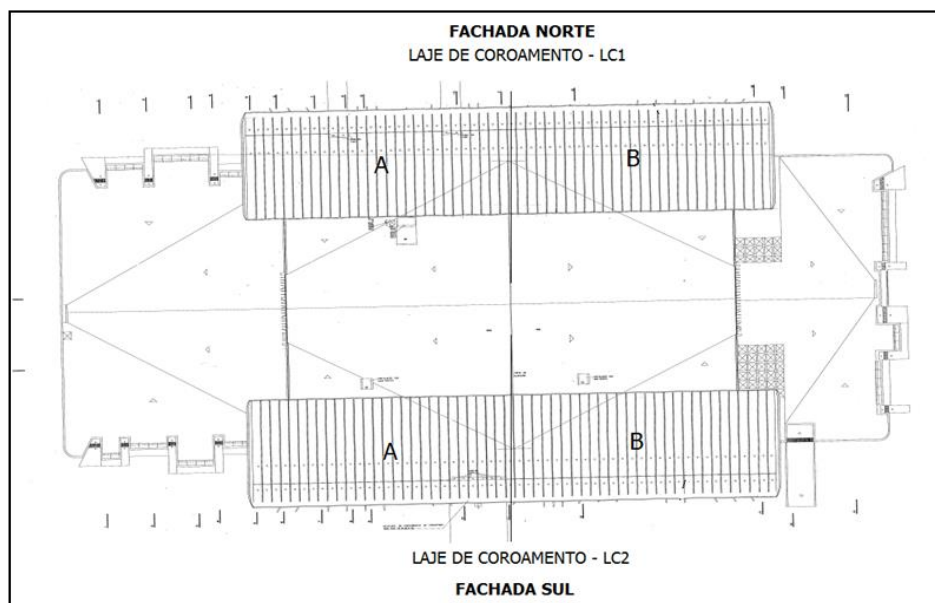


Figura 4.24. Identificação das lajes de coroamento e divisão em partes A e B.

As Figura 5.25 abaixo, mostra a vista superior ampliada da cobertura da Biblioteca Central da UnB, em que é possível melhor visualizar as vigas transversais nas lajes de coroamento.

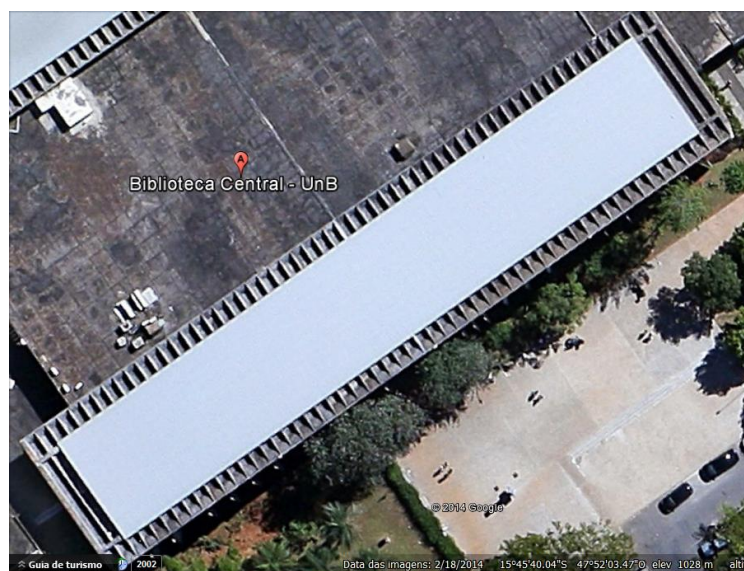


Figura 4.25. Vigas transversais na laje LC2 (Google Earth, 2014).

Em todas as quatro partes de laje de coroamento foram encontrados os seguintes danos: cobrimento deficiente, corrosão de armaduras, deslocamento, eflorescência, falha de

concretagem, fissuração, manchas e umidade.

Em todas as lajes, percebe-se o dano cobrimento deficiente. Segundo a norma técnica vigente na época da construção da BCE – NB 1:1960: Projeto e execução de obras de concreto armado – o cobrimento mínimo para elementos em concreto aparente era de 1,5 cm. Porém, a análise feita nas lajes mostra que em muitos trechos o cobrimento da armadura é deficiente, menor ainda que o exigido em norma, havendo exposição de pequenos trechos da armadura, como mostram as Figuras 5.26 à 5.29. Assim, ambos os trechos A e B de cada laje apresentaram lesões graves, ou seja, valor de  $F_i=3$  para esse dano.



Figura 4.26 e 5.27. Cobrimento deficiente das armaduras nas lajes de coroamento.



Figura 4.28 e 5.29. Cobrimento deficiente das armaduras nas lajes de coroamento.

Na norma atual, NBR 6118:2014, o cobrimento requerido para lajes em locais com Classe de Agressividade Ambiental – CAA II, o caso de ambientes urbanos, o cobrimento mínimo exigido é de 2,5 centímetros.

É necessário salientar a importância em se garantir uma espessura adequada de cobrimento: inadequações e deficiências na execução do cobrimento promove a corrosão de armaduras, na



medida em que expõe parte ou totalmente as armaduras aos agentes externos, responsáveis por sua deterioração.

O dano deslocamento também foi observado em 100% dos elementos analisados. Para os quatro trechos – LC1-A, LC1-B, LC2-A e LC2-B – encontrou-se  $F_i=3$ , representando lesões graves. Pela análise das lajes, visualiza-se em vários pontos dos elementos a exposição, em grandes proporções, das armaduras. As Figuras 5.30 à 5.33. mostram esse dano.



Figura 4.30 e 5.31. Esfoliações e deslocamento do concreto nas lajes de coroamento.



Figura 4.32 e 5.33. Deslocamento do concreto nas lajes de coroamento.

O deslocamento está interrelacionado ao dano corrosão de armadura: a armadura causa o deslocamento do concreto envolvente, devido ao processo de corrosão, em que a armadura ganha volume devido à produção de ferrugem, exercendo pressão sobre o concreto envolvente causando fissuração e posterior deslocamento; também, o deslocamento expõe diretamente a armadura à ação dos agentes de degradação, acelerando o processo de corrosão.

O dano corrosão de armadura foi encontrado em todos os elementos. Também constituem lesões graves, com armaduras apresentando estágios avançados de corrosão (generalizado),

com aparição de fissuras e manchas acentuadas, como se pode observar pelas Figuras 5.34 à 5.36. Entre os efeitos da corrosão ressalta-se dano ao concreto, redução da capacidade resistente da armadura, perda de aderência entre concreto e aço e redução da ductilidade da armadura.



Figura 4.34 e 5.35. Corrosão de armaduras nas lajes de coroamento.



Figura 4.36. Corrosão de armaduras nas lajes de coroamento.

Ao longo das lajes, é possível notar que alguns trechos de armadura expostos apresentam aplicação de uma camada de material esverdeado. Provavelmente, trata-se de aplicação de pintura anticorrosiva para diminuir o ataque corrosivo nas barras, como mostram as Figuras 5.37 à 5.39.



Figura 4.37 e 5.38. Pintura anticorrosiva em armaduras expostas.

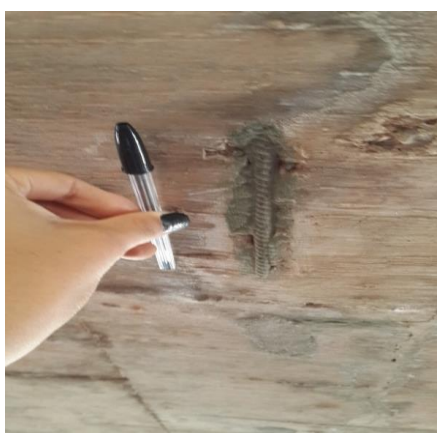


Figura 4.39. Pintura anticorrosiva em armaduras expostas.

No entanto, a aplicação de produtos anticorrosivos funciona corretamente se associado à um processo completo de recuperação da armadura e reparo do elemento estrutural. Como se pode ver pelas Figuras 5.37, 5.38 e 5.39, houve apenas a aplicação da pintura, sem a preocupação de corrigir o cobrimento das barras, que continuam expostas aos agentes corrosivos.

As falhas de concretagem são aparentes nas duas lajes, tanto no trecho A, quanto no B. Esse dano tem classificação de tolerável, sendo seu valor de  $F_i=2$  para todos os trechos de laje. As falhas de concretagem podem ocorrer por falhas nas fôrmas de concretagem, por ocorrência de exsudação, por falta de vibração adequada do concreto e/ou por falha na dosagem do concreto.





Figura 4.40 e 5.41. Falhas de concretagem nas lajes de coroamento.



Figura 4.42 e 5.43. Falhas de concretagem nas lajes de coroamento.

O dano “fissuras” é evidente nos quatro trechos de laje, LC1-A, LC1-B, LC2-A e LC2-B. Na análise desse dano, foram realizadas inspeções apenas na parte da laje de coroamento visível para quem está sob a laje de cobertura, ou seja, na face interna dessas lajes. A face externa de cada laje, voltada para as fachadas da Biblioteca não puderam ser analisadas por serem áreas de difícil acesso. A Figura 5.44 a seguir destaca a região analisada.

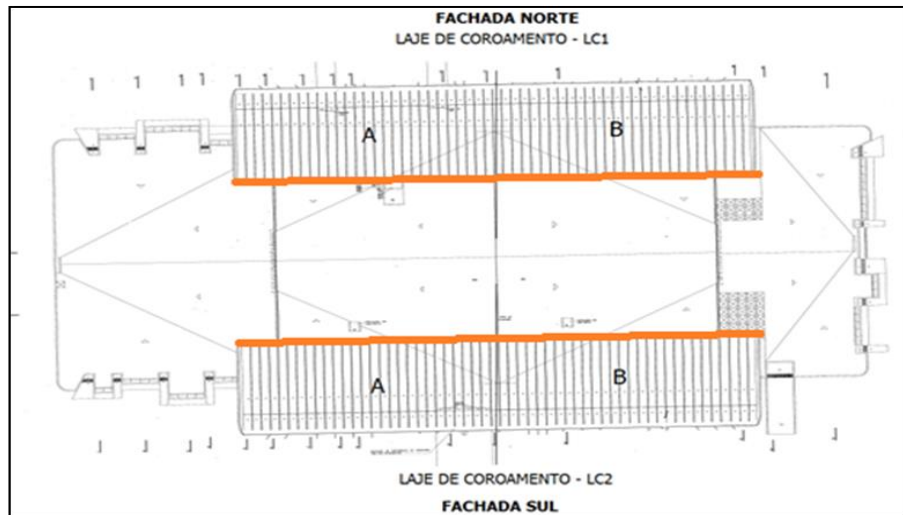


Figura 4.44. Destaque em planta sob região analisada no estudo de fissuras das lajes de coroamento.

As fissuras chamam atenção pela quantidade em que aparecem e pelo tamanho de sua abertura, como se pode perceber pelos exemplos das Figuras 5.45 e 5.46.



Figura 4.45 e 5.46. Frequência de fissuras nas lajes de coroamento.



Figura 4.47. Exemplo de fissura com ampla abertura em laje de coroamento.

As lajes de coroamento estão expostas ao ambiente, sob influência das variações de temperatura e de insolação direta. O clima típico de Brasília apresenta grandes oscilações de térmicas. A Tabela 5.3. apresenta os dados climáticos da cidade entre os anos 1960 e 1990, período que abrange a construção da Biblioteca e os 17 anos seguintes.

Tabela 4.3. Dados climatológicos de Brasília entre os anos 1960 e 1990 (INMET, 2014).

Dados climatológicos para Brasília													
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Temperatura máxima registrada (°C)	32,6	31,2	32,1	31	29,8	28,9	30,3	33	34,2	35,8	33,3	33,7	35,8
Temperatura máxima média (°C)	26,9	26,7	27,1	26,6	25,7	25,2	25,1	27,3	28,3	27,5	26,6	26,2	26,6
Temperatura média (°C)	21,2	21,3	21,5	20,9	19,6	18,5	18,3	20,3	21,7	21,6	21,1	21	20,6
Temperatura mínima média (°C)	17,4	17,4	17,5	16,8	15	13,3	12,9	14,6	16	17,4	17,5	17,5	16,1
Temperatura mínima registrada (°C)	12,2	11	14,5	10,7	3,2	3,3	1,6	5	9	10,2	11,4	13,5	1,6
Chuva (mm)	247,4	217,5	180,6	123,8	38,6	8,7	11,1	13,9	55,2	166,6	231,1	246	1 540,6
Dias com chuva (≥ 1 mm)	17	14	13	9	3	1	1	1	5	13	16	18	111
Umidade relativa (%)	76	77	76	75	68	61	56	49	53	66	75	79	67,6
Horas de sol	154,4	157,5	180,9	201,1	234,3	253,4	266,5	262,9	203,2	168,2	142,5	138,1	2 363

Como se pode notar, houve grandes oscilações térmicas entre as temperaturas máximas e mínimas mensais em Brasília durante esse intervalo de tempo. É típico de Brasília, ainda nos dias atuais, essa grande variação, que chega inclusive a apresentar grandes variações diárias de temperatura. Essas oscilações causam intensa movimentação de dilatação e contração da estrutura, podendo causar aumento de tensão na estrutura e consequente fissuração. Nesse contexto, entra a importância do dimensionamento adequado das juntas de dilatação. A NBR

6118:2014 recomenda uma junta de dilatação a cada 15 metros. A NB 1:1960 previa uma a cada 30 metros. Caso sejam adotados intervalos maiores de 15 metros, a NBR 6118:2014 indica que seja considerados os efeitos de retração térmica do concreto, retração hidráulica e das variações de temperatura nos cálculos. Com essa análise, para as lajes em estudo, pode-se então apontar a influência da temperatura como a causa das intensas fissurações encontradas nesses elementos.

Nas lajes de coroamento, as fissuras se apresentam sempre próximas e paralelas às vigas, indicando a rigidez que elas apresentam ao movimento térmico das lajes. Não apenas isso, mas também o fato de haver apenas uma junta de dilatação de 2 cm em uma extensão de 83,19 metros de extensão da laje de coroamento chama a atenção. Sendo assim, há uma junta de dilatação para cada 41,6 metros, ou seja, representa um espaçamento quase duas vezes maior que o sugerido pela NBR 6118:2014. Além disso, a análise realizada neste projeto sobre as juntas de dilatação das lajes de coroamento resultou em uma avaliação de estado crítico dessas juntas, que apresentaram intensos danos de umidade e obstrução. Assim sendo, as juntas de dilatação não estão em capacidade plena de amortecer as movimentações da estrutura.

A NBR 6118:2014 prescreve para ambientes urbanos – classe ambiental II – que a abertura máxima de fissuras não deve exceder 0,3 mm ( $w_k \leq 0,3\text{mm}$ ). As médias obtidas pela medição da abertura das fissuras nas lajes de coroamento resultou em valores muito acima deste limite, como mostra a Tabela 5.4.

Tabela 4.4. Média das aberturas das fissuras nas lajes LC1 e LC2.

Lajes de Coroamento	
LC1	LC2
1,4 mm	1,2 mm

Apesar de não ter sido realizado o teste do selo de gesso, é aparente que as fissuras são vivas. As fissuras já sofreram intervenção na tentativa de conter a fissuração e impedir a infiltração por elas. Nota-se que houve preenchimento com epóxi em algumas. No entanto, como a fissuração é viva, em alguns casos a abertura reabriu no mesmo local, em outros, abriu logo ao lado. As Figuras 5.48 e 5.49 retratam exemplos dessas fissuras.





Figura 4.48 e 5.49. Fissuras preenchidas por epóxi, com reabertura da fissura.

A análise da fissuração nas lajes, portanto, resulta em  $Fi=4$  para os quatro trechos de laje, cujas fissuras não estão estabilizadas e apresentaram abertura excessiva.

O dano eflorescência apresenta manifestação generalizada e intensa, chegando a formar crostas de carbonato de cálcio, as estalactites, por toda a superfície de ambas as lajes, como mostram as Figuras 5.50 à 5.53. Devido ao estado crítico em que se encontra cada elemento, determinou-se  $Fi=4$  para os quatro trechos de laje.



Figura 4.50 e 5.51. Eflorescência nas lajes de coroamento.





Figura 4.52 e 5.53. Eflorescência nas lajes de coroamento.

Esse dano é causado pela lixiviação do carbonato de cálcio presente na composição do concreto. Como as lajes de coroamento estão expostas às intempéries, as águas pluviais penetram nas lajes causando essa lixiviação. Porém, a intensidade desse dano evidencia a deficiente impermeabilização desses elementos.

As manchas são constituídas por aglomerações de bactérias e fungos, possuindo aspecto escurecido. . Esse dano é mais visível em partes da estrutura expostas às intempéries e em locais em contato direto com escoamento d'água. As manchas foram observadas em pequenas extensões nas lajes de coroamento e representam lesões toleráveis, apresentando  $Fi=2$ . As Figuras 5.54 à 5.57 ilustram as manchas encontradas.



Figura 4.54 e 5.55. Manchas nas lajes de coroamento.



Figura 4.56 e 5.57. Manchas nas lajes de coroamento.

O dano umidade está presente em todas as lajes de coroamento, apresentando lesões toleráveis, ou seja,  $Fi=2$ . No contexto das lajes de coroamento, as manchas de umidade são visualmente difíceis de serem localizadas, porque a umidade está associada a aparição dos danos “manchas” e “eflorescência” que apresentam coloração mais intensa e aparente, ressaltando sobre as manchas de umidade. As Figuras 5.58 à 5.59 ilustram esse dano.



Figura 4.58 e 5.59. Manchas de umidade nas lajes de coroamento.

Na tentativa de corrigir a elevada umidade e intensa infiltração de água, em 2005, houve uma grande intervenção na biblioteca: a instalação de coberturas metálicas sobre as lajes de coroamento. A Figura 5.60 mostra as coberturas metálicas nas lajes de coroamento. Walter, funcionário da Biblioteca, relata que acompanhou José Galbinski, arquiteto da BCE, na visita à laje após a instalação da cobertura e que ele criticou esse feito. Como já mencionado anteriormente, no projeto de Galbinski, as lajes de coroamento tinham a função de resfriar o interior da edificação. A presença das coberturas metálicas cria um “bolsão” de ar quente que

aquece a zona onde normalmente ocorreria a convecção do ar. Assim, esse sistema “natural” de resfriamento passa a não mais funcionar. Além disso, as coberturas metálicas não cobrem inteiramente as lajes de coroamento, fazendo as águas pluviais escoarem para as “baías” formadas pela viga que apoia a cobertura e as vigas transversais, como mostra a Figura 5.61.

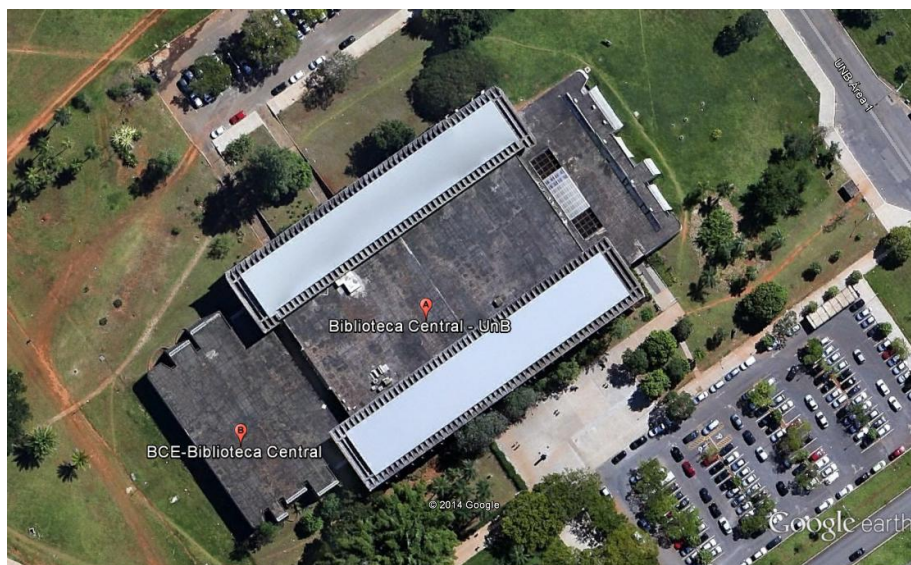


Figura 4.60. Vista superior da BCE/UnB (Google Earth, 2014).



Figura 4.61. Baías na laje de coroamento LC2.

Apesar de as baias possuírem orifício para escoamento da água, eles não funcionam plenamente devido à falta de manutenção e, conseqüente, entupimento gerado por folhas e objetos que ali caem. Assim, quando ocorrem chuvas, as baias acumulam água que goteja pelos orifícios e infiltra para as lajes de cobertura pelas fissuras promovendo a proliferação intensa de fungos, como mostram Figuras 5.62 e 5.63. Além disso, essa água favorece a



ocorrência de lixiviação, manchas e corrosão das armaduras.



Figura 4.62 e 5.63. Fungos nas lajes de cobertura abaixo das lajes de coroamento.

Pôde-se notar também a presença de material de aspecto esbranquiçado sobre nas baias das lajes de coroamento. Trata-se de aplicação de impermeabilizante na tentativa de conter as infiltrações. Apesar desse esforço, como já foi explicitado acima, as lajes ainda sofrem de infiltração.

É importante também citar o relevante sobrepeso à que estão submetidas as lajes de coroamento por efeito de acumulo de águas pluviais. Essa carga adicional pode causar não somente mais danos à lajes de coroamento, mas também afetar globalmente estrutura da Biblioteca devido ao aumento do peso transferido à estrutura. Assim, é importante a conscientização para que sejam feitas manutenções rotineiras nessas lajes.

Por fim, a partir da avaliação global de cada trecho de laje de coroamento, obteve-se os valores do Grau de deterioração do elemento – Gde, conforme mostra a Tabela 5.5.

Tabela 4.5. Valores de Gde para cada parte das lajes de coroamento.

	Lajes de Coroamento			
	LC1-A	LC1-B	LC2-A	LC2-B
<b>Gde</b>	<b>100,18</b>	<b>100,18</b>	<b>100,18</b>	<b>100,18</b>

A partir do Gde, calculou-se o Grau de deterioração da família de elementos – Gdf, resultando no que mostra a seguinte tabela:

Tabela 4.6. Valor de Gdf para lajes de coroamento.

Lajes de Coroamento	
Gdf	132,52

Os resultados acima apresentados revelam um nível de deterioração crítico para ambas as lajes de coroamento. Tais elementos, portanto, necessitam de inspeção emergencial e imediata.

### 4.3 PILARES

“Brise-soleil”, expressão francesa para “quebra-sol”, é um dispositivo arquitetônico utilizado para impedir a incidência direta de radiação solar no interior de um edifício, de forma a evitar o calor e a luminosidade excessiva. Os pilares externos da Biblioteca têm a função de brise e foram os elementos inspecionados nesse trabalho.

Foram avaliados 42 pilares: 21 situados na fachada norte e 21 na fachada sul. Por isso, foram nomeados de P1 até P42, segundo a Figura 5.64 abaixo. Os pilares possuem 9,88 metros de altura cada e comprimento variando entre 5 a 5,74 cm dependendo do pilar.

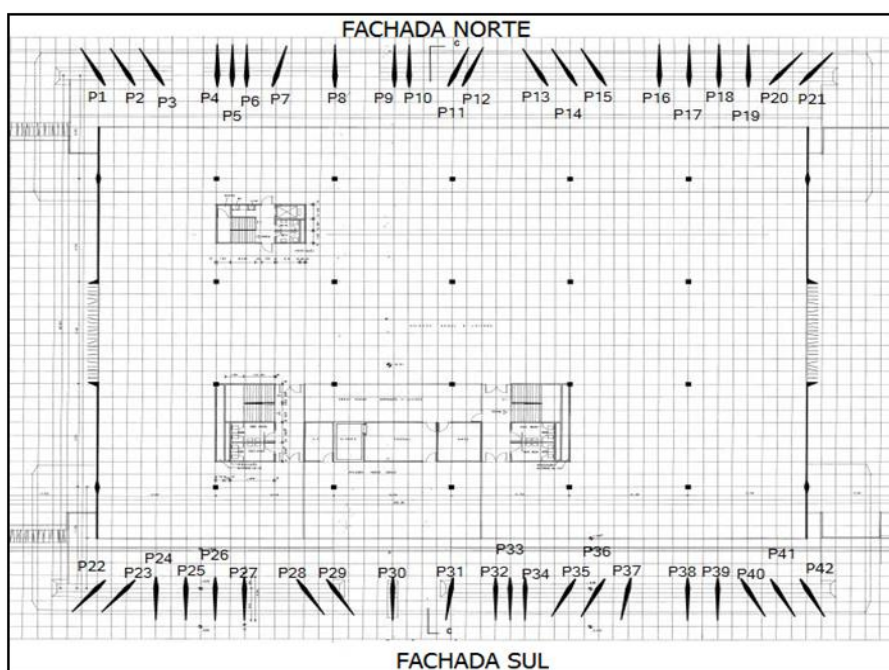


Figura 4.64. Planta baixa com destaque aos pilares e sua nomenclatura.

Os danos mais frequentes encontrados na avaliação dos pilares em geral foram: cobrimento deficiente, corrosão de armaduras, deslocamento, desagregação, eflorescência, falha de

concretagem e manchas.

O dano cobrimento deficiente foi encontrado em todos os 42 elementos. Apesar de atualmente a NBR 6118:2014 exigir 3 cm como cobrimento mínimo para locais com CAA II, a norma NB 1:1960 recomendava apenas cobrimento de 1,5 cm para peças de concreto aparente. Assim, devido ao pequeno cobrimento exigido na norma da época, qualquer falha no momento da concretagem se torna passível de gerar esse dano. Provavelmente esta é a causa das falhas de cobrimento vistas, tanto nos pilares quanto nas lajes de coroamento retratadas anteriormente.

A maioria dos elementos apresentou lesões toleráveis,  $Fi=2$ , para esse dano, apresentando maior gravidade apenas em P14 e P15, em que as lesões são mais frequentes, obtendo  $Fi=3$ . As imagens a seguir evidenciam os danos.



Figura 4.65 e 5.66. Cobrimento deficiente em pilares diferentes,  $Fi=2$ .



Figura 4.67 e 5.68. Cobrimento deficiente em P14,  $Fi=3$ .

O deslocamento foi visto em 98% dos elementos. Destes, em 46%, observou-se pequenas escamações no concreto, isto é, apresentaram lesões toleráveis ( $Fi=2$ ). Nos restantes 54%, as



lesões foram graves ( $Fi=3$ ) causando grande exposição da armadura. As Figuras 5.69 à 5.72 mostram os danos encontrados.



Figura 4.69 e 5.70. Desplacamento em pilares com  $Fi=3$ .



Figura 5.71 e 5.72. Desplacamento em pilares com  $Fi=2$ .

A corrosão de armaduras está presente em todos os elementos. Essa dano manifesta-se através da aparição de manchas marrom ou esverdeadas e pelo deslocamento que causa no concreto. Dos 42 pilares, 64% dos pilares apresentaram lesões toleráveis ( $Fi=2$ ) e 46% lesões graves ( $Fi=3$ ).



Figura 5.73 e 5.74. Corrosão de armaduras em pilares com  $F_i=3$ .



Figura 4.75. Corrosão de armaduras em pilares com  $F_i=3$ .



Figura 4.76 e 5.77. Corrosão de armadura em pilares com  $F_i=2$ .



As falhas de concretagem são visíveis em todos os pilares. Dos 42 elementos, 19% obtiveram  $Fi=3$  e os outros 81% classificados com  $Fi=2$ . As imagens a seguir mostram esse dano.



Figura 4.78 e 5.79. Falha de concretagem em pilares com  $Fi=3$ .



Figura 4.80 e 5.81. Falha de concretagem em pilares com  $Fi=2$ .

No caso da Biblioteca, como foi citado antes, nota-se a repetição desse dano em todos os elementos. Essas falhas no momento da concretagem tem origem no escape de argamassa por abertura nas fôrmas dos pilares, também com possibilidade de falhas no adensamento do concreto e erros em sua especificação ou produção.

A eflorescência pôde ser vista em todos os brises, apresentando sempre manchas de pequena extensão. Assim sendo, os elementos foram classificados com  $Fi=2$ . As Figuras 5.82 e 5.83 evidenciam esse dano.



Figura 4.82 e 5.83. Eflorescência nos pilares.

As manchas também foram visualizadas em 100% dos pilares. Apesar das manchas serem de pequena extensão e ocuparem menos que 50% da área do pilar, apresentaram sempre cor escura e intensa, sendo bastante notáveis. Esse dano foi classificado com  $Fi=2$  para todos os elementos. A seguir, as imagens evidenciam esse dano.



Figura 4.84 e 5.85. Manchas nos pilares.

Pela análise dos 42 pilares externos da Biblioteca Central da UnB e aplicação da metodologia GDE, pôde-se obter os resultados mostrados na tabela 5.7 a seguir.

Tabela 4.7. Valores de Gde para cada pilar e Gdf para os pilares.

<b>Pilar</b>	<b>Gde</b>	<b>Pilar</b>	<b>Gde</b>	<b>Pilar</b>	<b>Gde</b>	<b>Pilar</b>	<b>Gde</b>	<b>Pilar</b>	<b>Gde</b>
<b>P1</b>	60,39	<b>P11</b>	36,39	<b>P21</b>	13,89	<b>P31</b>	60,39	<b>P41</b>	60,39
<b>P2</b>	13,89	<b>P12</b>	13,89	<b>P22</b>	64,13	<b>P32</b>	64,13	<b>P42</b>	60,39
<b>P3</b>	60,39	<b>P13</b>	36,39	<b>P23</b>	14,18	<b>P33</b>	13,89	<b>Gdf</b>	
<b>P4</b>	64,13	<b>P14</b>	64,13	<b>P24</b>	36,39	<b>P34</b>	13,89	<b>89,75</b>	
<b>P5</b>	36,39	<b>P15</b>	64,13	<b>P25</b>	61,48	<b>P35</b>	13,89		
<b>P6</b>	60,39	<b>P16</b>	60,39	<b>P26</b>	36,39	<b>P36</b>	13,89		
<b>P7</b>	13,89	<b>P17</b>	60,39	<b>P27</b>	60,39	<b>P37</b>	13,89		
<b>P8</b>	13,89	<b>P18</b>	14,18	<b>P28</b>	13,50	<b>P38</b>	13,89		
<b>P9</b>	13,89	<b>P19</b>	37,41	<b>P29</b>	36,39	<b>P39</b>	39,63		
<b>P10</b>	37,41	<b>P20</b>	13,89	<b>P30</b>	36,39	<b>P40</b>	36,39		

Pela análise dos resultados, chega-se às seguintes conclusões apresentadas na Tabela 5.8.

Tabela 4.8. Nível de deterioração dos pilares divididos em fachadas norte e sul.

Nível de deterioração	Fachada Norte		Fachada Sul	
	Baixo	38%	Baixo	38%
	Médio	24%	Médio	29%
	Alto	38%	Alto	33%

Analisando a Tabela C, tanto na Fachada Sul quanto na Norte, o valor máximo de Gde foi 64,13 e mínimo de 13,89. Se fizermos a média aritmética do Gde da Fachada Norte e Sul, encontramos, respectivamente os valores 37,61 e 36,38. Tanto para a Fachada Norte quanto para a Sul, esses números indicam que a maior parte dos pilares teve classificações nos extremos do intervalo de classificação entre baixo e alto nível de deterioração. Isso se confirma pela Tabela 5.8, em que a maior parte dos pilares obteve nível baixo ou alto de deterioração, em proporções iguais ou muito próximas.

Por último, foi calculado o Gdf, obtendo-se o valor 89,75. Assim, classificou-se a família dos pilares com deterioração sofrível, necessitando de inspeção detalhada e planejamento de intervenção em período máximo de seis meses.

#### 4.4 RESULTADO FINAL

Durante as etapas anteriores foram avaliados cada elemento em particular e obtido os valores do Grau de deterioração - Gde - para cada um deles. Com o valor de Gde, obteve-se o Grau de

deterioração da família de elementos – Gdf e foi analisado seu nível de deterioração.

Os brises, ou pilares externos, incluem-se na classificação “vigas e pilares principais”, apresentando, assim, Fator de Relevância Estrutural -  $F_r=5$ . As lajes de coroamento se incluem em “lajes, fundações, vigas secundárias, pilares secundários”, apresentando  $F_r = 4$ . Para as juntas de dilatação,  $F_r=3$ . A partir de todos os dados obtidos, calculou-se o Grau de Deterioração da Estrutura – Gd, apresentando os resultados da Tabela 5.9 a seguir.

Tabela 4.9. Grau de deterioração da estrutura – Gd.

<b>Família</b>	<b>Gdf</b>	<b>Fr</b>
Juntas	168,58	3
Lajes de Coroamento	132,52	4
Pilares	89,75	5
<b>Gd</b>	<b>123,71</b>	

Como o valor de Gd é maior que 100, classifica-se o nível de deterioração da estrutura como um todo como crítica. O edifício da Biblioteca Central da UnB precisa de inspeção emergencial e intervenção imediata.

O alto valor encontrado para o Grau de deterioração da BCE não representa apenas um dado numérico. É notável, inclusive para leigos, a ausência de manutenções na estrutura. Nesse contexto, no capítulo a seguir, será apresentada uma proposta para criação de um plano de gestão de manutenção em edificações na UnB.

## **5 MODELO DE GESTÃO DE MANUTENÇÃO PARA EDIFÍCIOS EM CONCRETO ARMADO**

Toda e qualquer estrutura, assim como seus materiais constituintes, por natureza tendem a se deteriorar ao passar do tempo, sofrendo alterações em suas propriedades iniciais e perda de desempenho. Por esse motivo, a estrutura deve passar por manutenções periódicas para garantir os requisitos mínimos de funcionalidade e atendimento das necessidades dos usuários.

Durante as décadas de 1950 e 1960, houve considerável aumento no número de pontes construídas nos Estados Unidos, e na oportunidade foi dada pouca ênfase às inspeções e à manutenção dessas estruturas. A preocupação com a inspeção e manutenção das pontes, que em grande maioria usam concreto como material de construção, se tornou prioridade quando em 1967 a ponte Silver Bridge colapsou. Em 1991, devido ao grande número de obras de arte especiais – OAEs – que havia nos EUA e aos avanços na área de informática, a FHWA – Federal Highway Administration desenvolveu um sistema de gestão de OAEs denominado “Pontis”, dando origem ao que foi chamada de “década dos sistemas de gestão de pontes”.

O principal objetivo de um sistema desse gerenciamento é determinar e implementar estratégias de ações envolvendo não apenas atividades de manutenção, reparo e reabilitação de OAEs, como principalmente atividades de preservação e melhoria da infraestrutura. Essas ações, integradas com estudos de otimização do capital disponível, melhora o retorno gerado aos usuários.

Neste capítulo, serão elaboradas propostas de gerenciamento da manutenção de edificações a partir de adequações no modelo de gestão de pontes. O levantamento de propostas foi realizado com o intuito de contribuir e promover o desenvolvimento de um Plano de Gestão a ser aplicado no gerenciamento dos prédios em concreto armado do Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília.

### **5.1 ESTRUTURAÇÃO BÁSICA E PROPOSTAS PARA ELABORAÇÃO DE UM PLANO DE GESTÃO**

Os sistemas de gestão são desenvolvidos com base no estoque de estruturas que se deseja gerenciar. Neste projeto, o gerenciamento será voltado para abordagem dos blocos de concreto aparente do Campus, como o ICC, BCE, FT, Reitoria, RU e FA.



Um sistema de gestão tem o objetivo de auxiliar gestores e responsáveis à tomar decisões sobre a melhor ação de manutenção. Para isso, baseam-se em ampla gama de informações sobre a estrutura, como características estruturais, sua funcionalidade, seu estado atual, os materiais que a compõe, entre outras. Assim, com o intuito de facilitar o planejamento, divide-se a estrutura do plano de gestão em três partes: banco de dados, análise dos dados e suporte à decisão. Essas partes compõe um fluxo constante de novas informações e ações, como mostra a Figura 6.1.

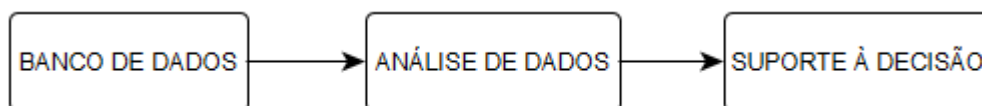


Figura 5.1. Fluxo de atividades em um sistema de gestão (FHWA , 2012 apud Verly, 2014)

### 5.1.1 BANCO DE DADOS

O banco de dados é o coração de um sistema de gestão, sendo a base para as demais atividades do fluxo. As informações devem ser bem especificadas e detalhadas, capazes de garantir análises adequadas. O banco de dados é dividido em:

- Inventário, condições e classificação;
- Custos;
- Atividades de conservação e melhoria.

A primeira fase trata do levantamento de dados sobre cada edificação do Campus a ser avaliada. Nesta etapa, são coletados tanto os dados de natureza geométrica, funcional e estrutural, quanto os dados referentes ao estado atual de cada estrutura. Essas informações são obtidas por meio das plantas e projetos da construção do edifício e por meio de inspeções. A avaliação dos elementos de cada bloco será subsídio para sua classificação dentro em uma escala de prioridade de intervenção.

Para melhor controle e possibilidade de comparação dos resultados das inspeções periódicas realizadas ao longo do tempo, sugere-se que as inspeções sejam realizadas utilizando a versão mais atualizada da metodologia Gde. Esta é capaz de classificar os níveis de deterioração tanto no âmbito de um elemento isolado tanto da estrutura como um todo, possibilitando que a intervenção se concentre nas peças mais deterioradas, levando em consideração sua relevância

para a estrutura como um todo.

Qualquer atividade de intervenção depende de recursos financeiros. Os gastos são um fator de grande relevância no momento da tomada de decisão. Sendo assim, a etapa de levantamento de dados relativos aos custos das intervenções necessárias devem ser bastante estudados. Esses dados podem ser expressos por aproximações, como por exemplo, área de eflorescência, comprimento de fissuras, extensão de armadura expostas, entre outros.

Quanto às atividades de melhoria e conservação, estas devem ser lançadas no controle de dados no momento em que forem realizadas e devem ser verificadas durante as próprias inspeções periódicas. Assim, pode-se comparar a situação atual em relação às condições encontradas em vistorias anteriores, permitindo avaliar se as atividades estão adequadas e se conseguiram atingir seus objetivos.

### **5.1.2 ANÁLISE DE DADOS**

A análise de dados permite alocar os recursos disponíveis de forma otimizada, minimizando custos e mantendo ou recuperando o nível de serviço desejado das estruturas. Esta etapa envolve a previsão das consequências das decisões tomadas hoje, por meio de dois passos.

O primeiro passo consiste em identificar as tendências de deterioração no bloco em estudo, sendo ideal uma base de dados mínima de três ciclos de inspeção, a menos que o nível de deterioração seja crítico. O ideal é os dados abrangerem a idade do elemento, o ambiente em que está inserido, o histórico de manutenção, o tipo de elemento estrutural e suas condições atuais. Assim, serão estabelecidas as prioridades de intervenção, na estrutura, em que os elementos com maior tendência de deterioração e maior relevância estrutural terão prioridade de intervenção.

O segundo passo consiste na análise das alternativas de custos. Deve-se avaliar os custos que a Universidade despenderá para reparação das estruturas que se encontram deterioradas, por falta de manutenção adequada durante os anos passados, e também aqueles que serão investidos em manutenção durante os próximos anos. Por outro lado, deve-se considerar que esses custos impactam positivamente no ciclo de vida da estrutura, além de trazer benefícios aos usuários. Neste último caso, pode-se citar a satisfação do usuário em usufruir de um ambiente confortável, seguro, limpo, com iluminação adequada e ventilação, por exemplo.

Assim, a análise dos dados deve ser feita de modo otimizado, maximizando os benefícios

tanto para a Universidade, quanto para os estudantes e trabalhadores que usufruem da infraestrutura. Essa análise porém deve considerar também as restrições de recursos financeiros disponíveis e também o nível de serviço mínimo que as estruturas devem garantir. Assim, algumas intervenções poderão ser postergadas, mas não devem fazer com que a estrutura ultrapasse o limite mínimo de serviço.

Os resultados da análise dos dados pode ser expresso por meio de atribuição de fatores de prioridade que classifique a estrutura e seus elementos segundo uma ordem numérica de prioridade de intervenção. Pode-se tomar como base a forma de classificação e atribuição de valores feitas pela metodologia Gde. Indica-se que as recomendações de avaliação de prioridades seja organizada em forma de tabelas e apresente exemplos de aplicação. A prioridade de intervenção é atribuída conforme as análises da evolução da deterioração e análises de custos.

### **5.1.3 SUPORTE À DECISÃO**

O sistema de gestão deve auxiliar o gestor, ou seja, a Universidade, na alocação dos recursos, que, em geral, são limitados, mas não devem permitir que a estrutura ultrapasse os limites mínimos de serviço.

Esse sistema de gestão tem a função principal de fornecer informações sobre a estrutura e análise de dados capaz de dar o máximo de suporte para a tomada de decisão da gestora. A partir dos valores obtidos para o fator  $F_p$ , pode-se atribuir recomendações do tipo de ação a ser tomada na estrutura ou elemento. Pode-se basear, por exemplo, nas recomendações que a metodologia Gde indica de acordo com o nível de deterioração do elemento/família de elementos/estrutura.

Apesar de o sistema possuir uma grande base de dados, a escolha da política de gestão não deve ser resultado único do processamento de dados pelo próprio sistema, mas sim uma escolha de gestores experientes, que tenham conhecimento e prática no assunto. Isso se deve às particularidades de uma decisão gerencial, como necessidades locais e considerações políticas, especialmente se tratando de uma entidade pública, como a UnB.

## **5.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE SISTEMAS DE GESTÃO**

Um sistema de gestão não deve negligenciar nenhuma de suas atribuições. Somente as informações fornecidas por inspeção sobre a situação atual das estruturas por meio de uma



metodologia, não conseguem abranger a análise global do processo de evolução da deterioração das estruturas e a avaliação econômica das intervenções. Sem a integração dessas análises, por meio do fluxo de atividades no plano de gestão, os recursos financeiros não conseguem ser aplicados de uma forma otimizada.

No âmbito deste projeto final, foi realizada a inspeção na edificação da Biblioteca Central da UnB, com levantamento de dados, sua avaliação e classificação segundo a metodologia Gde. Além disso, foram apresentados também os dados de inspeções realizadas no ICC e na Reitoria.

Tanto o ICC, quanto a Reitoria e a BCE são prédios pioneiros na Universidade de Brasília. Todos eles estão submetidos às mesmas condições ambientais e igualmente sofrem pela precariedade de manutenção ao longo dos anos. Além disso, a Reitoria, ICC e BCE foram inaugurados em 1971, 1973 e 1974, respectivamente, ou seja, essas estruturas datam praticamente do mesmo período de construção.

Com base nisso, elaborou-se um gráfico relacionando o nível de deterioração encontrado para esses prédios com suas idades no momento da inspeção afim de analisar e comparar o comportamento global dessas estruturas em relação ao tempo transcorrido desde sua inauguração até os dias atuais. A Figura 6.2 apresenta o gráfico realizado.

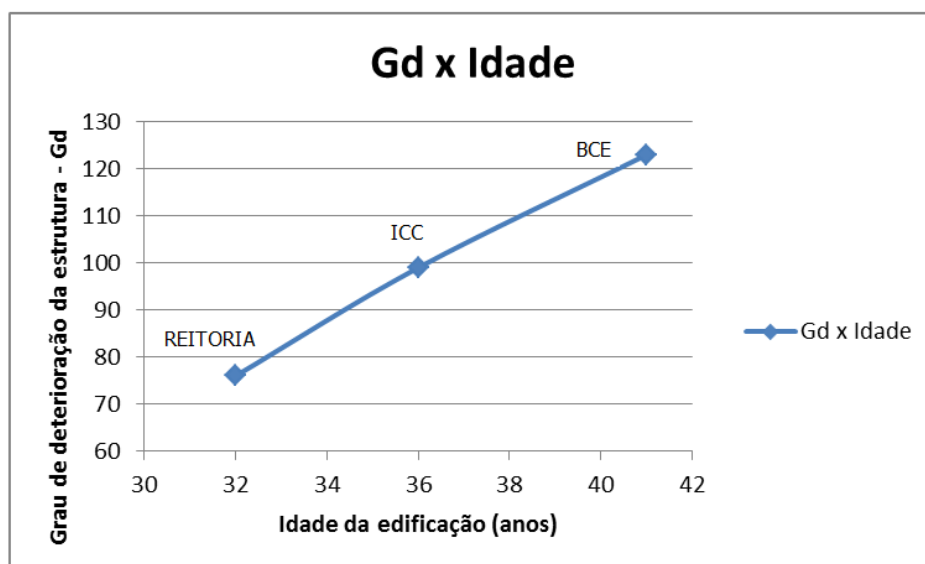


Figura 5.2. Relação entre Grau de deterioração e Idade das estruturas.

Pela análise gráfica é notório o avanço do processo de deterioração das estruturas em relação

a suas idades. A inspeção realizada este ano na BCE resultou em grau de deterioração crítico, com  $Gd=123,71$ , o maior entre essas as estruturas, o que é condizente, visto que apresentou a idade mais avançada no momento da inspeção: 41 anos. Além disso, como os prédios apresentam praticamente o mesmo período de construção, pode-se concluir, também, que o processo de deterioração evoluiu ao longo do tempo. Além da evolução da deterioração, atenta-se também para os valores altos encontrados para o nível de deterioração. O grau de deterioração dessas estruturas é alto para Reitoria, sofrível para ICC, chegando à crítico para a BCE, segundo avaliação pela metodologia Gde. É notável a falta de manutenção dos edifícios, fazendo-se necessário a tomada de providências em relação a esta situação.

Os dados e análises da estrutura da Reitoria, ICC e BCE apresentados neste projeto representam dados de inventário, análise e classificação da estrutura, consistindo, assim, em parte do banco de dados. A partir disso, têm-se a base para o desenvolvimento dos próximos passos do sistema de gestão.

Assim, o objetivo do desenvolvimento das propostas de gerenciamento da manutenção dos edifícios do Campus Darcy Ribeiro, UnB, é guiar a elaboração e desenvolvimento de um Plano de Gestão amplo, integrado e adequado à realidade da Universidade. Portanto, esse planejamento visa contribuir para a comunidade universitária como um todo, adequando a realidade da Universidade às necessidades dos alunos, funcionários e usuários da infraestrutura predial da UnB.

## 6 CONCLUSÃO

Este projeto propôs um estudo amplo da Biblioteca Central da Universidade de Brasília, com realização de levantamento de dados à níveis de projeto, levantamento de dados da situação atual da estrutura, por meio de inspeção, utilização de embasamento científico fornecido pela metodologia Gde para avaliação dos dados obtidos e desenvolvimento de um manual para plano de gestão, voltado para a manutenção das edificações do Campus Darcy Ribeiro.

A avaliação das juntas de dilatação foi aplicada às 3 juntas da laje de cobertura e à única junta em cada junta das lajes de coroamento. Para as juntas JC1 e JC2 das lajes de coroamento, foi obtido grau de deterioração do elemento –  $Gde = 128,57$ , ou seja, deterioração em nível crítico. A junta AB da laje de cobertura também obteve deterioração crítica, com  $Gde = 107,41$ . As juntas BC e CD da laje de cobertura mostraram lesões médias, com  $Gde = 46,67$ .

Na análise das 2 lajes de coroamento, tanto os trechos A e B da LC1, quanto os trechos A e B da LC2, obtiveram  $Gde = 100,18$ , representando um dano em nível crítico de deterioração.

A avaliação dos 42 pilares foi feita segundo a distribuição de P1 à P21 à fachada norte e P22 à P42 à fachada sul. Assim, dos pilares da fachada norte, 38% apresentaram nível de deterioração baixos, 24% nível médio e 38% nível alto. Para os pilares da fachada sul a distribuição ficou em 38% com nível baixo, 29% nível médio e 33% com nível alto de deterioração. Tanto para os pilares da fachada norte quanto da sul, o valor mínimo de  $Gde$  obtido foi  $Gde=13,89$  e o valor máximo foi  $Gde=64,13$ .

A avaliação de cada uma das famílias de elementos estudada, resultou na classificação do grupo das juntas de dilatação e das lajes de coroamento com deterioração em nível crítico, a partir dos valores obtidos de  $Gdf=168,58$  e  $Gdf=132,52$ , respectivamente. O grupo dos pilares obteve classificação sofrível, com  $Gdf=89,75$ . Assim, não é de se surpreender que o grau de deterioração da estrutura tenha atingido nível crítico, com  $Gd=123,71$ , indicando necessidade de intervenção imediata. Apesar de alguns desses elementos terem passado por intervenções, essas não foram suficientes ou adequadas para efeitos de restauração. Inclusive, mesmo os funcionários denunciam o uso de materiais de baixa qualidade, que logo se deterioram e perdem sua função.

Um ponto a ser ressaltado, foi a dificuldade em se obter informações a respeito de intervenções ocorridas na Biblioteca, mesmo nos departamentos da própria Universidade, como o DGI (Diretoria de Gestão da Infraestrutura), onde não obtive nenhum retorno, e a

Prefeitura da Universidade, que forneceu informações limitadas e precárias. Os dados obtidos a respeito das intervenções foram relatados por funcionários de serviços gerais da Biblioteca que presenciaram os processos de intervenção e também por própria avaliação visual.

Quanto à elaboração de propostas de gerenciamento da manutenção voltado para edificações, estas foram elaboradas a partir de adaptações realizadas na estruturação básica de um plano de gestão para pontes e obras de arte especiais desenvolvido nos Estados Unidos por FHWA (1992). Esse plano de gestão de OAEs está presente no seminário de mestrado de Verly (2014). As propostas oferecidas objetivam contribuir para o desenvolvimento de um plano de gestão voltado para os blocos do Campus Darcy Ribeiro da UnB, em que, especialmente os mais antigos, visivelmente encontram-se deteriorados. Com base no desenvolvimento do fluxo de atividades proposto para o plano de gestão, composto pelo banco de dados, sua posterior análise de dados e, por fim, criação de um suporte à decisão, os gestores da Universidade disporão de uma base consistente para decidirem sobre a melhor ação ser tomada.

Todos os dados e avaliações obtidos com a inspeção da BCE e resultados de avaliações anteriores da Reitoria da UnB e do ICC, compõe a etapa de “inventário, condições e classificação” dentro do banco de dados, servindo como base para a elaboração das etapas seguintes do fluxo de atividades do plano de gestão. Pela análise comparativa entre os níveis de deterioração dessas estruturas em relação ao seu tempo de vida, pôde-se notar a evolução do processo de deterioração com o tempo, fazendo-se necessário um planejamento de manutenção. Esse planejamento deve não apenas atender esses prédios, mas deve ser aplicável também às estruturas prediais do Campus em geral.

Ressalto que por ser a metodologia Gde baseada em critérios qualitativos, está propensa à subjetividade de quem faz as avaliações. Essa subjetividade também aparece durante algumas análises, em que é necessário realizar adaptações de acordo com o contexto da estrutura estudada e de seus elementos. Assim, para uma melhor padronização de futuros resultados obtidos por essa metodologia, deixo a sugestão de realização de treinamentos direcionados à sua aplicação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT (2014) – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2014), “Texto concluído da NBR 6118:2014: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento”.
2. ABNT (1998) – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1998), “Texto concluído da NBR 14037:1998: Manual de operação, uso e manutenção das edificações – Conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação”.
3. ABNT (2012) – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2012), “Texto concluído da NBR 5674:2012: Manutenção de edificações – Procedimento”.
4. ABNT (2013) – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2013), “Texto terminado da NBR 15575:2013 partes 1 à 6: Edificações habitacionais – Desempenho”.
5. BOLDO, P. (2002) - "Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro", Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, DF, janeiro.
6. CASTRO, E. K. (1994) - “Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, DF, 185p, dezembro.
7. CASTRO, E.K. (2014) – Notas de Aula, Patologia das Construções, Universidade de Brasília, DF.
8. FONSECA, R. P. (2007) – “A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção”, Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 213p.
9. FREITAS, M. A. & GONÇALVES, R. C. (2006), “Avaliação Quantitativa dos Danos na Estrutura de Concreto Armado do Prédio da Reitoria da Universidade de Brasília”, Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
10. KLEIN, D., GASTAL, F., CAMPANOLO, J.L. & SILVA FILHO, L. C. (1991), “ Critérios adotados na vistoria de obras de arte”, XXV Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, Porto Alegre, pp. 185-196, Novembro.
11. GOOGLE INC. (2014) - “Google Earth”. Consultas realizadas entre dias 25 e 27 de Novembro de 2014.

12. GRATÃO, L. S. – “Estrutura do prédio da BCE/UnB: Histórico de Projeto, Execução, Intervenções e Avaliação da Estrutura”, Projeto Final, Universidade de Brasília, DF, 116p.
13. INMET (2014) – “Instituto Nacional de Meteorologia” - <http://www.inmet.gov.br>. Consulta realizada no dia 15 de Novembro de 2014.
14. LOPES, B. A. R. (1998), “Sistemas de manutenção predial para grandes estoques de edifícios: estudo para inclusão do componente estrutura de concreto”. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, Brasília.
15. MEDEIROS, M. H. F., ANDRADE, J. J.O. e HELENE, P. (2011) – “Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto”, Capítulo 22, Ibracon, 2011.
16. PENA, D. e LOURENÇO, V. (2008). “Estrutura do prédio anexo da BCE/UnB: Histórico de Projeto, Execução e Intervenções; Avaliação da Deterioração e Proposta de Recuperação/Manutenção”. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 50 p.
17. SOUZA, V.C. e RIPPER, T. (1998) – “Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto”, Ed. Pini, São Paulo, SP, 255p.
18. VERLY, R. C. (2014) – “Comparação das metodologias de inspeção em obras de arte especiais: Gde/UnB e DNIT”. Seminário de dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, PECC, Universidade de Brasília, Brasília, DF.